

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**

Теплоенергетичний факультет

Кафедра автоматизації проектування енергетичних процесів і систем

"На правах рукопису"
УДК 004.41

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
О.В. Коваль
(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ” _____ 2018р.

Магістерська дисертація

Зі спеціальності - 121 Інженерія програмного забезпечення
За спеціалізацією – Програмне забезпечення веб-технологій та мобільних пристроїв
на тему Інтелектуальне діагностування технічного стану силових трансформаторів

Виконав : студент 6 курсу, групи ТІ-71мп
Ярута Олена Олексіївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н., Ковальчук А. М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент доцент, к.т.н., Баранюк О. В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ - 2018

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Факультет теплоенергетичний

Кафедра автоматизації проектування енергетичних процесів і систем

Рівень вищої освіти другий, магістерський

Зі спеціальності - 121 Інженерія програмного забезпечення

За спеціалізацією – Програмне забезпечення веб-технологій та мобільних пристроїв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль О.В.

(прізвище, ініціали)

(підпис)

« ____ » _____ 2018р.

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

Яруті Олені Олексіївній

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Інтелектуальне діагностування технічного стану силових трансформаторів

Науковий керівник Ковальчук Артем Михайлович, к.ф.-м.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 15 вересня 2018 року №1151-с

2. Строк подання студентом дисертації 10 грудня 2018 року

3. Об'єкт дослідження програмне забезпечення для діагностування технічного стану силових трансформаторів

4. Предмет дослідження програмне забезпечення діагностування технічного стану силових трансформаторів на основі заданих методів

5. Перелік питань, які потрібно розробити аналіз існуючих програмних застосунків для діагностування технічного стану трансформаторів; дослідження потреб промислових підприємств, що використовують трансформатори в роботі; удосконалення підходу до розробки модельної частини програмних застосунків для Windows; аналіз існуючих методів моніторингу технічного стану трансформаторів; розробка програмного продукту для інтелектуального діагностування технічного стану силових трансформаторів

6. Перелік ілюстративного матеріалу функціональна декомпозиція; діаграма прецедентів; загальна схема роботи додатку; діаграма процесів; програмна реалізація методу трикутник Дюваля; MAS для діагностики фефектів силового трансформатора; основні класи онтологічної моделі; узагальнення прикладних властивостей в онтології; онтологічна модель; приклади роботи програмного застосунку

7. Перелік публікацій стаття доповіді V міжнародної науково-практичної конференції «Сталий розвиток — XXI століття: управління, технології, моделі (наукові читання імені Ігоря Недіна)», яка відбулася 23-24 жовтня 2018 року в м. Києві.

8. Дата видачі завдання «11» вересня 2017 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз проблеми діагностування технічного стану силових трансформаторів	11.09.2017-12.11.2017	
2	Аналіз існуючих реалізацій та шляхів вирішення проблеми	13.11.2017-15.01.2018	
3	Аналіз існуючих методів для моніторингу технічного стану трансформаторів	16.01.2018-05.03.2018	
4	Аналіз вимог до точності діагностування	06.03.2018-27.06.2018	
5	Аналіз вимог до виведення результатів у зрозумілій формі для користувача	28.06.2018-18.08.2018	
6	Моделювання схеми роботи майбутньої програми	19.08.2018-07.09.2018	
7	Розробка архітектури програмного забезпечення	08.09.2018-12.10.2018	
8	Розробка дизайну інтерфейсу користувача	20.09.2018-14.10.2018	
9	Розробка програмного застосунку	15.09.2018-01.11.2018	
10	Тестування програмного застосунку	07.10.2018-15.11.2018	
11	Оформлення документації	15.11.2018-10.12.2018	

Студент

(підпис)

Науковий керівник

(підпис)

Ярута О. О.
(прізвище та ініціали)

Ковальчук А. М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Структура й обсяг дипломної роботи.

Магістерська дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновку, переліку посилань з 43 найменувань, 2 додатки, і містить 23 рисунки, 25 таблиць. Повний обсяг магістерської дисертації складає 100 сторінок, з яких перелік посилань займає 4 сторінки, додатки – 7 сторінок.

Актуальність теми. Силові трансформатори як об'єкти техносфери експлуатуються в електроенергетиці понад ста років. Це – один із видів найбільш відповідального обладнання на електростанціях та підстанціях. При їх виготовленні використовуються високовартісні матеріали та комплектуючі, до яких висуваються дуже високі вимоги по якості. Якраз це і визначає надійність всього об'єкта. Силові трансформатори містять значну кількість високо очищеного трансформаторного масла – горючої речовини, при займанні якої може виникнути серйозна пожежа. За статистикою понад 20% аварій трансформаторів супроводжується пожежами та вибухами, тому захисту трансформаторів від подібного розвитку несправностей потрібно приділяти особливу увагу.

Мета дослідження полягає у визначенні способів значного підвищення точності інтелектуального діагностування технічного стану силових трансформаторів за рахунок використання розробленої онтологічної моделі, а також створенні програмного забезпечення для моніторингу за допомогою методів, що базуються на системі правил та графічного відображення результатів.

Для досягнення поставленої задачі були сформульовані наступні **завдання дослідження**, що визначили логіку дослідження та його структуру:

- проаналізувати існуючі системи для моніторингу трансформаторів;
- удосконалити підхід до розробки методів, що використовуються для діагностики трансформаторів;
- проаналізувати існуючі реалізації програмних застосунків для оцінки

технічного обладнання;

- розробити програмний продукт для діагностики технічного стану силових трансформаторів.

Об’єктом дослідження є програмне забезпечення діагностування технічного стану трансформаторів.

Предметом дослідження є програмне забезпечення діагностування технічного стану трансформаторів на основі визначених методів.

Методи дослідження. Розв’язання поставлених задач виконувались засобами комп’ютерного моделювання, зокрема з використанням наступних методів:

- методи Дюваля, Роджерса, Доєрнбурга для моніторингу технічного стану трансформаторів на основі системи правил на основі отриманих даних;
- метод для діагностування технічного стану трансформаторів на основі онтологічної моделі та отриманих даних.

Наукова новизна одержаних результатів. Найбільш суттєвими науковими результатами магістерської дисертації є:

- розроблено графічний візуалізатор, що базується на основі методу Дюваля та дозволяє слідкувати за виникненням та перебігом поломок в силовому трансформаторі
- розроблено удосконалену онтологічну модель оцінки силового трансформатору на базі аналізу відомих методів виявлення помилок, досліджених вченими раніше

Практичне значення одержаних результатів роботи полягає в розробці програмного продукту, який підвищить точність діагностування технічного стану силових трансформаторів та дозволить завчасно виявити сам дефект та його тип.

Ключові слова. *МОНІТОРИНГ, ОНТОЛОГІЯ, СИСТЕМА ПРАВИЛ, БАЗА ЗНАНЬ, WINDOWS FORMS, C#..*

ABSTRACT

Structure and volume of thesis.

The master's dissertation consists of an introduction, five sections, a conclusion, a list of references from 43 titles, 2 applications, and contains 23 drawings, 25 tables. The full volume of the master's dissertation is 100 pages, of which the list of links takes 4 pages, applications - 7 pages.

Actuality of theme. Power transformers as objects of the technosphere are exploited in the power industry for more than a hundred years. This is one of the most responsible equipment at power plants and substations. When producing them, high-value materials and components are used, which are subject to very high quality requirements. This is exactly what determines the reliability of the entire object. Power transformers contain a significant amount of highly purified transformer oil - a combustible substance, in the face of which there may be a serious fire. According to statistics, more than 20% of accidents in transformers are accompanied by fires and explosions, so the protection of transformers from such a development of malfunctions must be given special attention.

The purpose of research is to identify ways to significantly improve the accuracy of the intellectual diagnosis of the technical state of power transformers by using the developed ontological model, as well as creating software for monitoring using methods based on the rules system and graphical display of results.

To accomplish the task, the following research objectives were formulated, which determined the logic of the research and its structure:

- analyze existing systems for monitoring transformers;
- to improve the approach to the development of methods used for diagnostics of transformers;
- analyze the existing implementation of software applications for the assessment of technical equipment;

- develop a software product for diagnosing the technical condition of power transformers.

The object of research is the software for diagnosing the technical state of transformers.

The subject of research is a software for diagnosing the technical state of transformers based on certain methods.

Research methods. The solution of the set tasks was carried out by means of computer simulation, in particular using the following methods:

- Duvall, Rogers, and Dönnenburg methods for monitoring the technical condition of transformers based on a system of rules based on the received data;
- Method for diagnosing the technical state of transformers based on the ontological model and the obtained data.

Scientific novelty of the obtained results. The most significant scientific results of the master's thesis are:

- a graphical visualizer based on the Duvall method has been developed and allows you to monitor the occurrence and progress of breakdowns in the power transformer
- an improved ontological model for estimating a power transformer based on the analysis of known methods for detecting errors, previously investigated by scientists

The practical significance of the results of the work is to develop a software product that will increase the accuracy of the diagnosis of the technical state of the power transformers and will enable the defect itself and its type to be detected in advance.

Keywords. MONITORING, ONTOLOGY, RULES SYSTEM, KNOWLEDGE BASIS, WINDOWS FORMS, C # ..

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	10
Вступ	11
1. Постановка завдання оцінки технічного стану силових трансформаторів	13
2. Наукова новизна в оцінці технічного стану силових трансформаторів	17
3. Технології для оцінки технічного стану силових трансформаторів	19
3.1 Система правил	19
3.1.1 Методи інтерпретації результатів хроматографічного аналізу газів, розчинених у олії	22
3.1.2 Метод Дорненбурга	26
3.1.3 Метод Роджерса	27
3.1.4 Метод Дюваля	29
3.1.5 Бази знань	32
3.2 Поняття онтології	34
3.2.1 Методи побудови онтологій	39
3.3 Середовище розробки Visual Studio 2017 та технології Windows Forms	41
3.4 Мова програмування C#	43
3.5 RDF - інструмент для неструктурованих даних	47
4. Програмна реалізація моделі діагностування	52
5. Інструкція роботи програми	65
6. Стартап проект	72
6.1 Опис ідеї проекту	72
6.2 Технологічний аудит ідеї проекту	74
6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	75
6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	82
6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	84
Висновок	88

Список використаних джерел	90
Додаток А	94
Додаток Б.....	99

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АРГ	Аналіз розчинених в маслі газів
ПК	Персональний комп'ютер
ЕС	Експертні системи
RDF	Resource Description Framework
OWL	Web Ontology Language
W3C	World Wide Web Consortium
DL	Description Logic
IS-A	Relationship
A-KIND-OF	Relationship
COM	Component Object Model — модель компонентного об'єкта
ASP	Active Server Pages — це технологія від компанії Microsoft
XML	Extensible Markup Language — Розширювана мова розмітки
DLR	Dynamic Language Runtime — Виконуюче середовище динамічної мови
API	Application Programming Interface
CLR	Common Language Runtime — загальномовна виконуюча середа
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers

ВСТУП

Вітчизняна електроенергетика знаходиться на межі корінної модернізації, яка у ведучих світових державах вже почалася і здійснюється під гаслом «розумної енергетики».

Силові трансформатори як об'єкти техносфери експлуатуються в електроенергетиці понад ста років. Це – один із видів найбільш відповідального обладнання на електростанціях та підстанціях. При їх виготовленні використовуються високовартісні матеріали та комплектуючі, до яких висуваються дуже високі вимоги по якості. Якраз це і визначає надійність всього об'єкта. Силові трансформатори містять значну кількість високо очищеного трансформаторного масла – горючої речовини, при займанні якої може виникнути серйозна пожежа [1]. За статистикою понад 20% аварій трансформаторів супроводжується пожежами та вибухами, тому захисту трансформаторів від подібного розвитку несправностей потрібно приділяти особливу увагу.

Найбільш ефективним способом виявлення аномалій у масло наповненому обладнанні є аналіз продуктів деградації матеріалів. Трансформаторне масло у силовому трансформаторі виконує дві очевидні функції: ізоляційну та охолоджувальну. Крім того, масло сприяє гасінню електричної дуги. Крім того, масло є дуже важливим інформаційним середовищем, де зосереджено відомості про різноманітні процеси, що відбуваються у трансформаторі. Стан масла змінюється відповідно до режимів робіт трансформатора внаслідок міграції вологи, продуктів старіння та забруднення під впливом температури, електричного поля та сил гравітації. Його стан оцінюється за результатами досліджень проб, відібраних у кількох характерних точках та з врахуванням режиму роботи трансформатора. При виникненні пошкодження всередині трансформатора склад розчинених у ньому газів буде змінюватись досить інтенсивно як якісно, так і кількісно. У процесі

розвитку дефекту справний об'єкт стає несправним, а сам дефект еволюціонує з пошкодження до відмови.

Вивчення механічних домішок та інших продуктів деградації, в тому числі морфології частинок, являє суттєву діагностичну цінність. За експертними оцінками аналіз масла дозволяє виявити близько 70% можливих дефектів у трансформаторах.

Найбільш ефективним підходом до діагностування технічного стану технологічних систем є безперервний автоматичний контроль, тобто моніторинг обладнання [2]. Цей підхід легко реалізувати за допомогою вбудованих засобів моніторингу та діагностування, які можуть бути реалізованими як на етапі проектування та створення, так і в результаті до оснащення вже діючого технологічного обладнання. Обсяги впровадження та результуючий економічний ефект підтверджує перспективність таких систем.

Аналіз розчинених в маслі газів (АРГ) є одним з найбільш інформативних методів аналізу, який дозволяє виявити розвиток дефектів на ранній стадії, виявляє широкий спектр дефектів і проводиться без відключення трансформатора з роботи. Саме тому контроль технічного стану трансформатора заснований на АРГ, який проводиться частіше, ніж інші види вимірювань. Якщо за результатами АРГ вперше діагностують розвиток дефекту в трансформаторі, то його ставлять на прискорений контроль. Далі, якщо з результатів прискореного АРГ слід подальший розвиток дефекту, то за характером дефекту і швидкості його розвитку призначають інші методи діагностування. На підставі оцінки технічного стану за сукупністю всіх проведених видів вимірювань приймається рішення про подальшу експлуатацію трансформатора і необхідних операціях технічного обслуговування. При діагностуванні за результатами АРГ електричної дуги і підтвердження розвитку дефекту трансформатор виводять з роботи без проведення додаткового обстеження.

У нормально працюючих трансформаторів існує «природний фон» газів, який називають «граничними концентраціями». Такий фон у кожного апарату індивідуальний і залежить від конструкції, виду захисту масла, марки масла, системи охолодження, температурного режиму, напруги, потужності і т.д.

1. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Сьогодні чітко прослідковується тенденція на активне використання інформаційних технологій на всіх етапах життєвого циклу об'єкта. Особливі надії у цьому плані покладаються на можливості експертних систем, які в міру наповнення багатоаспектною інформацією «самонавчаються» і стають реальними помічниками спеціалістів при прийнятті складних технічних рішень.

Сучасний рівень розвитку мікропроцесорної техніки та інформаційних технологій дозволяє вирішити наступні задачі:

- визначення поточного технічного стану (задача технічного діагностування);
- передбачення стану, в якому опиниться об'єкт в певний майбутній момент часу (задача технічного прогнозування);
- визначення стану, у якому знаходився об'єкт в певний момент часу у минулому (задача технічного генезу) [3].

Головною задачею діагностування технічного стану та режиму роботи обладнання у режимі реального часу є визначення ресурсу працездатності обладнання – чи можна його експлуатувати далі і, якщо можна, то в якому режимі.

Оскільки переважна частина дефектів пов'язана з оборотними змінами стану (ізоляційної системи внаслідок її зволоження, забруднення домішками, газо насичення матеріалів, старіння масла, деградації поверхні ізоляції внаслідок адсорбції агресивних продуктів старіння масла, вологи та відкладення домішок), то своєчасне реагування та проведення коригуючих дій (видалення вологи, дегазація, регенерація масла та ізоляції з видаленням адсорбованих продуктів старіння) – є найбільш ефективним методом реального подовження строку служби ізоляційної системи трансформатора, зокрема відновлення початкового запасу електричної міцності, без виводу трансформатора в ремонт [4]. Розвиток дефектів активної

частини найчастіше пов'язано з виникненням вогнищ місцевого нагріву або вогнищ місцевих електричних розрядів, під впливом яких масло та інші матеріали починають розкладатися з виділенням різних газів. У початковій стадії розвитку дефектів кількість газів, що виділяються є невеликим і не перевищує рівня розчинності їх в маслі.

Розроблене програмне забезпечення призначене для інтелектуального діагностування технічного стану силових трансформаторів. Для реалізації поставленої задачі була розроблена онтологічна модель та реалізація методами Дюваля, Доерненбурга, Роджерса.

Вхідними даними є значення наявних різних хімічних елементів в трансформаторному маслі, які представлені як набір даних у файлі. Ці дані обробляються за допомогою методу, основою якого є база знань та за допомогою онтології. Вихідні дані представлені за допомогою двовимірного та тривимірного графіків, кругової діаграми та є наявним прогнозування через який період настане поломка в трансформаторі із середнім кроком, обчисленим на основі попередніх результатів.

Метою даної роботи є реалізація окремого програмного модулю для надання можливості оцінки технічного стану трансформатора, моделювання перебігу його життєвого циклу в певний період на основі отриманих або ж самостійно генерованих даних. Для її досягнення потрібно вирішити ряд завдань: ознайомитись із публікаціями наукових та науково-технічних видань, в яких є опис сучасних методів інтелектуального діагностування силових трансформаторів; виявити та ознайомитись із наявними програмними рішеннями в даній сфері; розробити програмну реалізацію системи для моніторингу силових трансформаторів.

Об'єктом поставленої задачі є методи та інформаційне забезпечення інтелектуального діагностування технічного стану силових трансформаторів. Предметом запропонованої роботи є моніторинг технічного обладнання такого, як трансформатори із врахуванням основних методів, що були винайдені вченими раніше, а також за допомогою сучасних, за допомогою обраної мови програмування та обраних інструментів для реалізації.

Програмний застосунок повинен бути створеним для операційної системи Windows, оскільки основні її користувачі використовують цю платформу на ПК підприємствах. На рисунку 1.1 зображено функціональну декомпозицію програми.



Рисунок 1.1 – Функціональна декомпозиція

Програмний продукт для оцінки технічного стану силових трансформаторів повинен надавати можливість:

- вивантажувати дані із файлу в таблицю та за допомогою кольору помічати тип поломок в трансформаторі
- обробляти дані із файлу
- обирати метод для аналізу завантажених даних
- нарисувати трикутник Дюваля
- позначати в трикутнику Дюваля тип поломок, виявлених однойменним методом
- переглянути співвідношення типів наявних поломок в трансформаторі на круговій діаграмі

— в реальному часі спостерігати за життєвим циклом силового трансформатора на лінійному графіку

Загальна діаграма прецедентів зображена на рисунку 1.2.

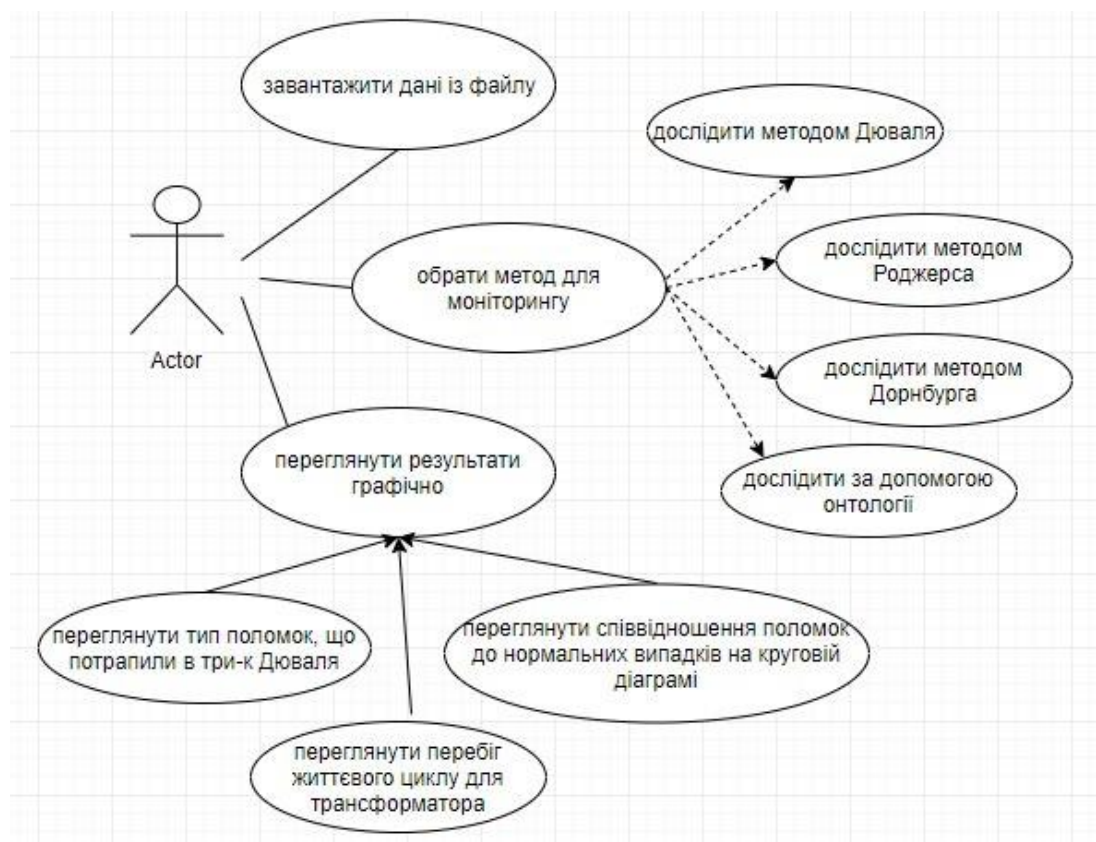


Рисунок 1.2 – Діаграма прецедентів

Висновки до розділу 1

Задача розробки інтелектуального аналізу поломок в силовому трансформаторі полягає в тому, що завантажені дані обробляються відповідно до обраного методу, а результати відображаються графічно. В якості вхідних параметрів подаються дані із файлу, що є кількісним представленням газів в трансформаторному маслі. Значення наявних газів із файлу завантажуються в таблицю, а ті, що перевищують допустиму норму позначають за допомогою кольору визначений тип помилки. А загальні результати відображаються на круговій діаграмі, лінійному графіку та на графічно нарисованому трикутнику Дюваля.

2. НАУКОВА НОВИЗНА В ОЦІНЦІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Вітчизняна електроенергетика знаходиться на межі корінної модернізації, яка у ведучих світових державах вже почалася і здійснюється під гаслом «розумної енергетики».

Силові трансформатори як об'єкти техносфери експлуатуються в електроенергетиці понад ста років. Це – один із видів найбільш відповідального обладнання на електростанціях та підстанціях. При їх виготовленні використовуються високовартісні матеріали та комплектуючі, до яких висуваються дуже високі вимоги по якості. Якраз це і визначає надійність всього об'єкта [5]. Силові трансформатори містять значну кількість високо очищеного трансформаторного масла – горючої речовини, при займанні якої може виникнути серйозна пожежа. За статистикою понад 20% аварій трансформаторів супроводжується пожежами та вибухами, тому захисту трансформаторів від подібного розвитку несправностей потрібно приділяти особливу увагу.

Найбільш ефективним підходом до діагностування технічного стану технологічних систем є безперервний автоматичний контроль, тобто моніторинг обладнання. Цей підхід легко реалізувати за допомогою вбудованих засобів моніторингу та діагностування, які можуть бути реалізованими як на етапі проектування та створення, так і в результаті до оснащення вже діючого технологічного обладнання. Обсяги впровадження та результуючий економічний ефект підтверджує перспективність таких систем.

В рамках дисертації було виконано наукові дослідження наявних методів оцінки технічного стану силових трансформаторів. Перед початком дослідження було проаналізовано основні причини виникнення поломок, які можуть виникнути в самому трансформаторі, або ж бути спровокованими навколишнім середовищем.

В результаті аналізу було обрано метод виявлення поломок через аналіз розчинених газів в маслі силових трансформаторів.

Існуючі програмні рішення дозволяють аналізувати стан трансформатора лише в одній точці на його життєвому циклі. Тому було прийнято рішення реалізувати програмний застосунок, який зможе обробляти всі значення, отримані протягом всього життєвого циклу не лише за допомогою відомих методів, а й за допомогою онтологічної моделі, що підвищує точність оцінки.

Наукова новизна для методу Дюваля полягає в тому, що на трикутнику можна переглянути графічно реалізований весь процес перебігу поломки, або ж для групи вибраних точок, або в конкретно обраній точці.

Висновки до розділу 2

Розроблено графічний візуалізатор, що базується на основі методу Дюваля та дозволяє слідкувати за виникненням та перебігом поломок в силовому трансформаторі

Розроблено удосконалену онтологічну модель оцінки силового трансформатору на базі аналізу відомих методів виявлення помилок, досліджених вченими раніше

3. ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Розпочати перегляд наявних методів, що використовуються для оцінки технічного стану силових трансформаторів пропоную із тих, що базуються на системі правил.

3.1 Система правил

На рисунку 3.1 показані модулі, які складають типову експертну систему.

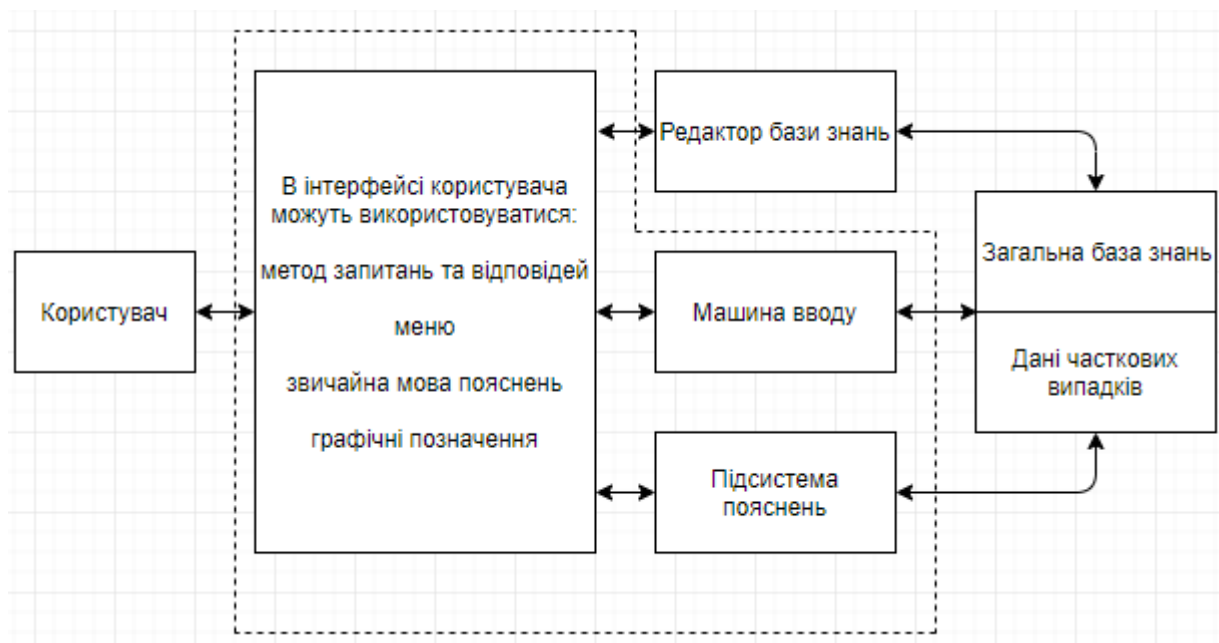


Рисунок 3.1 – Архітектура типової експертної системи для предметної області

Користувач взаємодіє з системою через інтерфейс, який приховує багато складнощів, в тому числі внутрішню структуру бази правил. При розробці інтерфейсу експертної системи використовують різноманітність стилів, включаючи "питання-відповідь", меню управління або графічний інтерфейс. Тип інтерфейсу визначається потребами користувача, вимогами бази знань і системи виведення [6]. Ядром експертної системи є база знань, яка містить знання з приватної прикладної області. В експертній системі, заснованій на правилах, це знання представляється в

формі правил «якщо А, то В». База знань містить як загальні знання, так і інформацію про окремі випадки. Механізм виведення застосовує знання при вирішенні реальних завдань. По суті, він є інтерпретатором бази знань. У продукційній системі механізм виведення здійснює цикл розпізнавання-дія. Процедури, які виконують цей керуючий цикл, відокремлені від самих продукційних правил. Такий поділ механізму виведення і бази знань важливо підтримувати з кількох причин

Наприклад, правила «якщо ..., то ...» точніше описують навички людини у вирішенні завдань, ніж комп'ютерний код нижчого рівня. У зв'язку з тим, що база правил відділяється від програмних керуючих структур нижчого рівня, розробники експертної системи можуть зосередитися на накопиченні і організації правил, а не на деталях їх комп'ютерної реалізації. В ідеалі поділ правил і управління дозволяє вносити зміни в одну частину бази правил без створення побічних ефектів в інших. Поділ правил і керуючих елементів програми дозволяє використовувати в різних системах одні й ті ж модулі управління і інтерфейсу користувача. Оболонка експертної системи включає всі компоненти, показані на рисунку 3.1, а база правил і дані про окремі випадки можуть поповнюватися для нових додатків. Експертна система повинна зберігати інформацію про окремі випадки, в тому числі факти і висновки. Сюди включаються дані, отримані в окремому випадку рішення задачі, приватні ув'язнення, ступеня довіри до висновків і тупики в процесі пошуку. Ця інформація відділяється від загальної бази правил. Підсистема пояснень дозволяє програмі пояснити своє міркування користувачеві [7]. Вона забезпечує обґрунтування висновків системи у відповідь на питання «як?», Пояснення необхідності конкретних даних, а також відповіді на питання «чому?»

Приклад системи, заснованої на правилах. В експертних системах, заснованих на правилах, знання про рішення задач представляють у вигляді правил «якщо ..., то ...». Цей підхід, будучи одним з найстаріших методів представлення знань про предметну область в експертній системі, застосовується в системах, архітектура яких показана на рисунку 3.1. Як один з найбільш природних він широко використовується в комерційних і експериментальних експертних системах.

Архітектура експертної системи, заснованої на правилах, може бути розглянута в термінах моделі виробничої системи вирішення завдань. Між ними є велика схожість: продукційна система вважається інтелектуальним попередником архітектури сучасних експертних систем, в якій продукційні правила дозволяють краще зрозуміти конкретну ситуацію. Коли Ньюелл і Саймон розробляли продукційну систему, їх метою було моделювання діяльності людини при вирішенні завдань. Якщо експертну систему на рисунку 3.1 розглядати як продукційну, то базу правил про предметну область можна вважати набором продукційних правил. В системі, заснованої на правилах, пари «умова-дія» представляються правилами «якщо ..., то ...», в яких посилка (частина якщо) відповідає умові, а висновок (частина то) - дії. Якщо умова задовольняється, експертна система здійснює дію, що означає істинність висновку. Дані окремих випадків можна зберігати в робочій пам'яті. [8] Механізм виведення здійснює цикл виробничої системи «розпізнавання-дія». При цьому управління може здійснюватися або на основі даних, або на основі мети. Багато предметні області більше відповідають прямому пошуку. Наприклад, в проблемі інтерпретації велика частина інформації являє собою вихідні дані, при цьому часто важко сформулювати гіпотези або мета. Це призводить до прямого процесу міркування, при якому факти містяться в робочу пам'ять, і система шукає для них інтерпретацію. В експертній системі на основі мети в робочу пам'ять поміщається цільове вираз. Система зіставляє укладення правил з цільовим виразом і поміщає їх передумови в робочу пам'ять. Це відповідає декомпозиції проблеми на більш прості підцілі. На наступній ітерації роботи виробничої системи процес триває, ці передумови стають новими підцілі, які зіставляються з висновками правил. Система працює до тих пір, поки всі підцілі в робочій пам'яті не стануть справжніми, підтверджуючи гіпотезу. Таким чином, зворотний пошук в експертній системі наближено відповідає процесу перевірки гіпотез при вирішенні проблем людиною. В експертній системі, щоб досягти підцілі, слід запросити інформацію у користувача. У деяких експертних системах розробники визначають, які підцілі можуть досягатися шляхом запиту до користувача. Інші системи звертаються до користувача, якщо не можуть вивести істинність підцілі на основі правил з бази

правил. Як приклад вирішення завдань на основі мети із запитами до користувача можна розглянути невелику експертну систему діагностики автомобіля. Це не повна система діагностики, так як вона містить лише чотири дуже простих правила. [9] Вона приводиться як приклад, який демонструє утворення ланцюжків правил, інтеграцію нових даних і використання можливостей пояснення.

- Правило 1: Якщо паливо надходить в двигун і двигун обертається, то проблема в свічках запалювання.
- Правило 2: якщо двигун не обертається і фари не горять, то проблема в акумуляторі або проводці.
- Правило 3: якщо двигун не обертається і фари горять, то проблема в стартері.
- Правило 4: якщо в баку є паливо і паливо надходить в карбюратор, то паливо надходить в двигун.

3.1.1 Методи інтерпретації результатів хроматографічного аналізу газів, розчинених у олії

Це дуже поширений і інформативний метод діагностики стану маслонаповненого обладнання, коли по концентрації і складу газів, розчинених в маслі, проводиться діагностика наявності теплових дефектів і електричних розрядів всередині трансформатора [10].

Для цього зазвичай проводиться визначення концентрації розчинених в маслі семи газів:

- Водень (H_2).
- Метан (CH_4).
- Ацетилен (C_2H_2).
- Етилен (C_2H_4).
- Етан (C_2H_6).
- Оксид вуглецю (CO).

— Діоксид вуглецю (CO_2).

Для діагностики дефектів, що спосібні розвиватися в силових трансформаторах можуть бути використані кілька основних критеріїв:

- критерій граничних концентрацій, швидкості наростання газів,
- критерій співвідношення пар і груп характерних газів.

Суть методики граничних критеріїв полягає в тому, що вихід значень параметрів за встановлені межі слід розглядати як ознаку наявності дефектів, які можуть привести до відмови обладнання.

Критерій граничних концентрацій дозволяє виділити із загальної кількості трансформаторного парку трансформатори з можливими розвиваються дефектами, а ступінь небезпеки розвитку дефекту визначається по відносній швидкості наростання концентрації газу (газів). Якщо відносна швидкість наростання концентрації газу (газів) перевищує 10% на місяць, то дефект вважається таким, що швидко розвиваються.

Характер розвитку дефекту за результатами аналізу концентрацій розчинених газів визначається по відносинам концентрацій різних пар газів. Прийнято розрізняти дефекти теплового та електричного характеру. До перших відносяться: виникнення дефекту коротко замкнутих контурів, підвищені нагрівів ізоляції, контактів, відводів, шпильок і інших металевих конструкцій остова і бака трансформатора. До дефектів електричного характеру відносяться розряди різної інтенсивності. Природно, розвиток дефекту в трансформаторі може мати змішаний характер.

З точки зору проведення діагностики дефектів трансформатора використовується підрозділ цих семи газів на основні гази, або ключові, і на характерні, або супутні.

При наявності різних дефектів всередині бака трансформатора в маслі виявляються характерні, досить стандартні комбінації розчинених газів, які і є ознаками наявності певних дефектів. Наприклад [11]:

- При перегрівих струмоведучих з'єднань і елементів конструкції остова трансформатора основним газом є C_2H_4 (етилен) - в разі нагрівання масла і

паперово-масляної ізоляції понад 500°C . При наявності всередині бака трансформатора дугових розрядів основним газом є C_2H_2 (ацетилен). Характерними газами в обох випадках є H_2 , (водень), CH_4 , (метан) і C_2H_6 (Етан).

- При перегрівих твердої ізоляції обмоток трансформатора основним газом є CO_2 (діоксид вуглецю). Слід також зазначити, що супутнім показником руйнування целюлозної ізоляції трансформатора є зростання вмісту оксиду вуглецю (CO), розчиненого в трансформаторному маслі. Наявність сумарною концентрації CO і CO_2 більш 1% може свідчити про деградацію целюлозної ізоляції.
- При часткових розрядах в маслі трансформатора основним газом є H_2 (водень), характерними газами з малим вмістом - CH_4 (метан) і C_2H_2 (ацетилен). При іскрових і дугових розрядах основними газами є H_2 (водень) або C_2H_2 (ацетилен), характерними газами з будь-яким вмістом - CH_4 (метан) і C_2H_4 (етилен).

Є кілька основних методів [3] діагностування одного з найбільш відповідальних і дорогих видів електрообладнання – силового трансформатора:

- хроматографічний аналіз газів, розчинених в трансформаторній олії;
- фізико-хімічний аналіз масла;
- оцінка діелектричних характеристик твердої ізоляції;
- досвід холостого ходу на зниженій напрузі;
- оцінка активних опорів обмоток на постійному струмі.

Одним з найбільш перспективних напрямків в дослідженні пошкоджень працюючих трансформаторів є періодичний аналіз вмісту розчинених у маслі газів, які визначаються хроматографічним методом [12]. Хроматографічний аналіз дозволяє: відстежувати розвиток процесів в обладнанні, виявляти дефекти на ранній стадії їх розвитку, не виявляються традиційними способами, визначати передбачуваний характер дефекту і ступінь наявного ушкодження, орієнтуватися при визначенні місця пошкодження. Для оцінки стану силових трансформаторів використовуються такі гази: водень (H_2), метан (CH_4), етан (C_2H_6), етилен (C_2H_4),

ацетилен (C_2H_2), чадний газ (CO), вуглекислий газ (CO_2) [5]. Крім цього, завжди присутні кисень і азот, а їх концентрація змінюється в залежності від герметичності корпусу трансформатора, і можуть виділятися такі гази, як пропан, бутан, бутен і ін., але їх дослідження в діагностичних цілях не отримало широкого поширення. Стан обладнання оцінюється зіставленням отриманих при аналізі кількісних даних з граничними значеннями концентрації газів і за швидкістю зростання концентрації газів в маслі [6]. Важливо розрізняти нормальні і надмірні обсяги газу. Нормальне старіння, або газова генерація, змінюється в залежності від конструкції трансформатора, навантаження і типу ізоляційних матеріалів. Перевага цього методу полягає в тому, що зразки масла можна відібрати в будь-який час без виведення обладнання з роботи. Хроматографічний аналіз трансформаторного масла сьогодні є одним з найбільш важливих і ефективних діагностичних методів, що виявляють широке коло проблем обладнання, в тому числі і на ранніх стадіях розвитку.

Також для діагностики розвиваються в силових трансформаторах дефектів терміни вживаються в такому критерії окремо, або в сукупності:

- критерій граничних концентрацій;
- критерій швидкості наростання газів;
- критерій ставлення пар характерних газів.

Суть методики критеріїв полягає в тому, що вихід значень параметрів за встановлені межі слід розглядати як ознаку наявності дефектів, які можуть призвести до відмови обладнання. Особливість методу хроматографічного аналізу газів полягає в тому, що нормативно встановлюються тільки граничні концентрації газів, досягнення яких свідчить лише про можливість розвитку дефектів в трансформаторі. Робота таких трансформаторів потребує особливому контролю [5]. Ступінь небезпеки розвитку дефекту визначається по відносній швидкості наростання концентрації газів. Якщо відносна швидкість наростання концентрації газів перевищує 10% на місяць, то дефект вважається швидко розвиваються. На основі зіставлення відносин концентрацій газів, розчинених в трансформаторному маслі, розроблено велику кількість методик, які використовуються в різних країнах

для оцінки стану масляних трансформаторів. Всього пропонується до розгляду шість характерних пар газів:

- $R1 = CH_4 / H_2$,
- $R2 = C_2H_2 / C_2H_4$,
- $R3 = C_2H_2 / CH_4$,
- $R4 = C_2H_6 / C_2H_2$,
- $R5 = C_2H_6 / CH_4$,
- $R6 = C_2H_4 / C_2H_6$.

3.1.2 Метод Дорненбурга

У 1970 р Дорненбургом запропонована методика діагностики, заснована на чотирьох співвідношеннях характерних пар газів: CH_4 / H_2 ($R1$), C_2H_2 / C_2H_4 ($R2$), C_2H_2 / CH_4 ($R3$), C_2H_6 / C_2H_2 ($R4$). Ці співвідношення об'єднують шість газів: H_2 , CH_4 , CO , C_2H_2 , C_2H_4 і C_2H_6 . Методика дозволяє ідентифікувати три основних дефекту в масло наповненому обладнанні: термічний вплив, часткові розряди з малою інтенсивністю, дугові процеси [2]. Отримані значення концентрацій порівнюють з граничними, представленими в таблиці 3.1. Методика використовується тільки при перевищенні порога.

Таблиця 3.1 - Концентрація розчинених газів

Газ	Концентрація, ppm
Водень (H_2)	100
Метан (CH_4)	120
Оксид вуглецю (CO)	350
Ацетилен (C_2H_2)	35
Етилен (C_2H_4)	50
Етан (C_2H_6)	65

Відповідно до стандарту IEEE C57.104-1991 процедура діагностування дефектів включає витяг газів і визначення їх концентрацій: - якщо одна з концентрацій H_2 , CH_4 , C_2H_2 , і C_2H_4 двічі перевищує межу L1 (дивитись таблицю 3.1), а концентрація одного з інших трьох газів перевищує величину межі L1, обладнання вважають дефектним; - якщо принаймні концентрація одного з газів в кожному з відношень перевищують межа L1, співвідношення дійсно. Інакше співвідношення не зважають істотними і обладнання повинно бути досліджено альтернативними методами; якщо співвідношення дійсні, кожне послідовне ставлення порівнюється зі значеннями в таблиці 3.2. - якщо все відносини для певного типу помилки знаходяться в межах значень, даних у таблиці 3.2, запропонований діагноз дійсний. Діагностичне укладення за методом Дорненбурга представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Діагностичне висновки за методом Дорненбурга

Тип ймовірної помилки	R1	R1	R2	R2	R3	R3	R4	R4
	Oil	Gas space	Oil	Gas space	Oil	Gas space	Oil	Gas space
Термічні поломки	>1.0	>0.1	<0.75	<1.0	<0.3	<0.1	>0.4	>0.2
Часткові розряди	<0.1	<0.01	-	-	<0.3	<0.1	>0.4	>0.2
Дугове замикання	>0.1 to <1.0	>0.01 to <0.1	>0.75	>1.0	>0.3	>0.1	<0.4	<0.2

3.1.3 Метод Роджерса

Характерні риси сучасного розвитку технологій контролю і діагностики стану трансформаторів базуються на використанні інтелектуальних систем для аналізу результатів вимірювань, врахування умов роботи обладнання, передісторії його експлуатації, постановки діагнозу, видачі рекомендацій оперативному персоналу та прийняття рішення про подальшу працездатності трансформатора. У зв'язку з

вищевикладеним, система діагностики трансформатора повинна включати параметри технічного стану силового трансформатора, включаючи статистичні та оперативні дані, що сигналізують про зародження і розвиток дефектів [7]. В інформаційній базі системи необхідно зберігати дані аналізів і результати вимірювань і випробувань. Діагностична система повинна базуватися на кількох видах оцінки: застосування експертної бази, використання оперативних даних, рекомендації нечіткої логіки, висновків нейронної логіки, оптимізації біогенезисних алгоритмів. Представлені види оцінки для прогнозування стану трансформатора повинні мати структурні взаємозв'язку різних типів: «або», «і чи», «якщо», «що якщо», «або якщо, то» і т. д.

Метод відношення Роджерса виявлення помилок є одним з інструментів, які можуть бути використані для аналізу розчинених газів в маслі трансформатора. Метод Роджерса був заснований раніше роботи Доерненберга, але на відміну від нього використовує три ключових газових співвідношення [12].

Безпосередньо в методі використовується R_1 , R_2 і R_5 -е співвідношення. Переваги - простий у використанні, давно і широко застосовується, визначає 8 типів дефектів і справний стан трансформатора. Різні варіації методу використовуються як в вітчизняних, так і в зарубіжних нормативних документах. Недолік методу – наявність недіагностуючих технічних станів трансформатора, коли певний набір значень R_1 , R_2 і R_5 не відповідають жодному з наведених в методів пар газів варіантів

Вперше був запропонований в 1973 р Протягом наступних п'яти років метод удосконалювався і був прийнятий як стандарт МЕК. Діагностика по методу Роджерса заснована на співвідношенні трьох концентрацій газів: R_1 , R_2 , R_5 . Цікаво відзначити, що в цій методиці тільки два співвідношення газів збігаються з методикою Дорненбурга.

Діагностичне висновок ґрунтується на поєднанні кодів, що привласнюються в залежності від співвідношення концентрацій газів, і значення (або інтервалу значень) відповідних співвідношень концентрацій газів.

Діагностичні висновки по сполученням кодів представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Діагностичні висновки за методом Роджерса

№	Тип поломки	R2	R1	R5
0	Відсутня	<0.1	≥ 0.1 to ≤ 1.0	≤ 1.0
1	Низько енергетичний частковий розряд	≥ 0.1 to ≤ 3.0	<0.1	≤ 1.0
2	Високо енергетичний частковий розряд	≥ 0.1 to ≤ 3.0	<0.1	≤ 1.0
3	Низькі розряди, іскри, дугові замикання	≤ 0.1	≥ 0.1 to ≤ 1.0	≥ 1.0
4	Високого рівня розряди, дугові замикання	≥ 0.1 to ≤ 3.0	≥ 0.1 to ≤ 1.0	>3.0
5	Термічний дефект, $<150^{\circ}\text{C}$	<0.1	≥ 0.1 to ≤ 1.0	≥ 1.0 to ≤ 3.0
6	Термічний дефект, $150-300^{\circ}\text{C}$	<0.1	≥ 1.0	≤ 1.0
7	Термічний дефект, $300-700^{\circ}\text{C}$	<0.1	≥ 1.0	≥ 1.0 to ≤ 3.0
8	Термічний дефект, $>700^{\circ}\text{C}$	<0.1	≥ 1.0	>3.0

3.1.4 Метод Дюваля

Існують інші способи визначення типу дефекту в трансформаторі, що відрізняються способом інтерпретації первинної інформації, більш зручні для діагностичного і обслуговуючого персоналу. Найбільш поширеним способом аналізу концентрацій розчинених газів є застосування трикутника Дюваля, названого так по імені його розробника. Одне з «останніх» уявлень трикутника Дюваля, яких в технічній літературі присутнє досить багато, наведено на рисунку [13].

Основна увага в трикутнику Дюваля приділено трьом газам - метану (CH_4), ацетилену (C_2H_2) і етилену (C_2H_4). Кожен з цих газів відкладається по своїй осі в

розмірності від нуля до ста відсотків. Точка перетину ліній, побудованих для концентрації цих трьох газів, потрапляє в одну з шести зон трикутника Дюваля, кожна з яких відповідає певному дефекту всередині бака трансформатора, який викликав насичення масла виявленими концентраціями газів.

- «D1» - зона часткових розрядів низької енергії.
- «D2» - зона часткових розрядів високої енергії.
- «T1» - зона термічного дефекту з температурою менше 300 градусів.
- «T2» - зона термічного дефекту з температурою 300 - 700 градусів.
- «T3» - зона термічного дефекту з температурою понад 700 градусів.
- «D + T» - зона розрядів і термічного дефекту.

Важливою перевагою застосування в діагностиці трикутника Дюваля є висока наочність при аналізі стадій розвитку дефекту в часі. Найцікавішими в цій траєкторії розвитку дефекту є початкова і кінцева точки. Вони показують, з чого почався розвиток дефекту, коли були зареєстровані перші ознаки виник дефекту і через які фази розвитку він пройшов. Важливим є також «генеральний напрямок», в якому відбувається розвиток дефекту, тобто переміщення ознак дефекту по зонам трикутника Дюваля. Цей напрямок досить точно показує, чого слід очікувати на кінцевих фазах розвитку виявленого всередині бака трансформатора дефекту.

Найпомітнішим недоліком застосування трикутника Дюваля є те, що вся діагностика в ньому зведена до аналізу концентрації тільки трьох газів - метану, ацетилену і етилену.

Але з іншого боку, це говорить про те, що використання тільки цих трьох розчинених газів цілком допустимо для ефективної діагностики дефектів всередині бака трансформатора. Може бути, такої кількості газів досить, а всі інші гази надлишкові для діагностики, або незначні? [14] Ми не будемо вникати в цю методичну проблему, залишивши її рішення фахівцям у цьому питанні.

Використання трикутника Дюваля є не єдиною графічної, логічної та порогової інтерпретацією результатів аналізу розчинених газів. Існують і інші методики діагностики дефектів всередині, що базуються на порівнянні концентрацій пар, або навіть більшої кількості діагностованих газів.

Повертаючись до основного питання даного розділу можна констатувати, що за допомогою аналізу розчинених у маслі газів можна діагностувати багато небезпечні дефекти, які можуть виникнути всередині бака трансформатора. Частина з цих дефектів, наприклад локальні теплові перегріву сердечника і обмоток, можуть діагностуватися тільки цим методом, всі інші методи, наприклад використання тепловізорів, до таких локальних дефектів малочутливі.

У той же час розрядні процеси всередині бака трансформатора, як на початковій стадії часткових розрядів, так і у фазі іскрових і дугових розрядів, можуть бути досить просто зафіксовані всередині бака за допомогою системи реєстрації високочастотних імпульсів. Ця система є навіть більш чутливою, ніж контроль розчинених газів, так як спочатку в зоні дефекту з'являються розряди, які потім поступово насичують масло продуктами своєї діяльності, тобто призводять до появи газів в маслі. Природно, що мова йде про таку систему реєстрації часткових розрядів, яка добре відбудована від високочастотних перешкод, особливо коронних розрядів, яких дуже багато в високовольтних силових трансформаторах.

В ідеальній системі діагностичного моніторингу (до якої ми завжди прагнемо) ці два методу: контролю розчинених в маслі газів і розрядних процесів (часткових розрядів) всередині бака трансформатора, дуже добре доповнюють і уточнюють один одного. Це взаємне уточнення стосується як питання визначення типу виник всередині бака трансформатора дефекту, так і локалізації місця виникнення цього дефекту.

Розглядаючи практичне застосування методу контролю розчинених газів в маслі, слід відзначити, що необхідно коректно враховувати зовнішні обурюють фактори, які спотворюють процедуру діагностики [15]. Ці обурюють фактори можуть призводити як до завищення концентрації розчинених газів, так і до її зниження.

До експлуатаційних факторів, що викликають збільшення концентрації розчинених в маслі газів, можна віднести:

- Залишкові концентрації газів, що проникли в масло під час ремонту трансформатора, якщо після ремонту не була проведена дегазація масла.

- Проведення зварювальних робіт на баку і інші роботи, що призводять до підвищення концентрації розчинених газів.
- Доливка в бак трансформатора масла, що було в експлуатації, і вже містить розчинені гази.
- Збільшення навантаження трансформатора.

До експлуатаційних факторів, що викликають зменшення концентрації розчинених в маслі газів, відносяться:

- Зменшення навантаження трансформатора.
- Проведення процедури дегазації масла.
- Доливка в бак трансформатора дегазованого масла.
- Заміна силикагеля і ін.

Перш ніж системою моніторингу буде зроблено діагностичний висновок про наявність дефектів в трансформаторі, що базується на аналізі виявлених концентрацій розчинених газів, необхідно переконатися, що відсутній вплив зовнішніх впливів, що змінюють концентрацію газів у маслі.

3.1.5 Бази знань

Бази знань - популярний інструмент, який компанії використовують для вирішення різних завдань на зразок зниження навантаження на службу підтримки. Ідея звучить красиво: навіщо постійно відповідати на одні і ті ж питання, коли можна просто описати ці рішення і посилатися на них.

База Знань - база даних, що містить правила виведення і інформацію про людський досвід і знання в деякій предметній області. У системах, що самостійно навчаються, база знань також містить інформацію, що є результатом рішення попередніх завдань.

За своєю суттю База Знань - це організоване сховище необхідного компанії контенту.

Прості бази знань можуть використовуватися для створення експертних систем і зберігання даних про організацію: документації, керівництв, статей технічного забезпечення [16]. Головна мета створення таких баз - допомогти менш досвідченим людям знайти існуючий опис способу вирішення будь-якої проблеми предметної області.

Онтологія може служити для подання в базі знань ієрархії понять і їх відносин. Онтологія, що містить ще й екземпляри об'єктів не що інше, як база знань.

Системи засновані на знаннях реалізуються на базі наступних інтелектуальних алгоритмів:

- експертні системи;
- нейронні мережі;
- нечітка логіка;
- генетичні алгоритми.

База знань - важливий компонент інтелектуальної системи. Найбільш відомий клас таких програм - експертні системи.

Експертна система-комп'ютерна програма, здатна частково замінити фахівця-експерта у вирішенні проблемної ситуації. Сучасні ЕС почали розроблятися дослідниками штучного інтелекту в 1970-х роках, а в 1980-х отримали комерційне підкріплення.

В інформатиці експертні системи розглядаються спільно з базами знань як моделі поведінки експертів у певній галузі знань з використанням процедур логічного висновку і прийняття рішень, а бази знань - як сукупність фактів і правил логічного висновку в обраній предметній області діяльності [17].

Характерними рисами експертної системи є:

- чітка обмеженість предметної області;
- здатність приймати рішення в умовах невизначеності;
- здатність пояснювати хід і результат рішення зрозумілим для користувача способом;
- чіткий розподіл декларативних і процедурних знань (фактів і механізмів виведення);

- здатність поповнювати базу знань, можливість нарощування системи;
- результат видається в вигляді конкретних рекомендацій для дій в ситуації, що склалася, не поступаються рішенням кращих фахівців;
- орієнтація на рішення неформалізованих (спосіб формалізації поки невідомий) завдань;
- алгоритм рішення не описується заздалегідь, а будується самої експертної системою;
- відсутність гарантії знаходження оптимального рішення з можливістю вчитися на помилках.
- База знань складається з правил аналізу інформації від користувача по конкретній проблемі. ЕС аналізує ситуацію і, в залежності від спрямованості ЕС, дає рекомендації по вирішенню проблеми.
- Як правило, база знань експертної системи містить факти (статичні відомості про предметну область) і правила - набір інструкцій, застосовуючи які до відомих фактів можна отримувати нові факти.
- Головна мета створення будь-якої Базы знань - скоротити час і трудовитрати на рішення типових інцидентів.

3.2 Поняття онтології

Розвиток наукоємних галузей людської діяльності в сучасному суспільстві супроводжується зростанням ролі комп'ютерних технологій. Зараз значно збільшується потік інформації, з'явилася необхідність пошуку нових способів її зберігання, уявлення, формалізації і систематизації, а також автоматичної обробки. Таким чином, зростає інтерес до всеосяжним баз знань, які можливо використовувати для різних практичних цілей. Величезний інтерес викликають системи, здатні без участі людини витягти будь-які відомості з тексту. Як результат,

на тлі знову виникаючих потреб розвиваються нові технології, покликані вирішити заявлені проблеми.

Онтології широко використовуються у всіх областях, що займаються обробкою даних на природній мові. У зв'язку з використанням онтологій в різних додатках виникла необхідність створення стандартизованих способів їх подання [18]. Почалося розвиток різноманітних мов, які могли б застосовуватися повсюдно у всіх системах, найвідомішими є RDF і OWL. Виникло також велика кількість редакторів для створення, поповнення і зміни онтологій. Кожне з цих коштів зазвичай направлено на роботу з певним форматом даних і має свої особливості.

Формально онтологію можна назвати формулюванням логічної теорії, нікого обчислення зі своїми правилами. Ця теорія дозволяє систематизувати категорії дійсності і / або виражаються в мові значення.

Існують різні визначення, що даються для онтології, одна з загальноприйнятих у комп'ютерних науках: «Онтологія є формальною, явною специфікацією спільної концептуалізації» [19]. У цьому визначенні специфікація є формальним описом того, як щось може бути побудований для задоволення певних критеріїв, тоді як концептуалізація вимагає використання мови онтології. Вона включає комп'ютерні символи з особами та відносинами у світі. Це забезпечує особливу абстракцію світу та позначення цієї абстракції. Наприклад, пропозиціональна логічна формула:

$$X(n) \rightarrow Y(n)$$

є абстрактною, і може бути заснована для області як:

$$\text{Mercedes} - \text{Benz}(n) \rightarrow \text{Car}(n)$$

де після інтерпретації її можна розділити і використати в певній процедурі.

Основні компоненти онтології підрозділяються наступним чином:

- класи або концепції;
- властивості або ролі;
- аксіоми.

Багато мов програмування розроблені для побудови онтології. Рамковий опис опису ресурсів (RDF) - це один з основних мов онтології, що дозволяє створювати просту ієрархію понять та властивостей. OWL розширюється від RDF; це одна з

стандартних мовами онтології, рекомендована W3C. OWL є потужною онтологією з можливостями RDF і додатково здатна описати поняття в складних ситуаціях.

Основна особливість OWL полягає в тому, що вона може використовуватися не тільки для подання інформації, але також для обробки представленої інформації та для вилучення нової інформації. Цей пункт дозволяє використовувати OWL для різних програм, таких як обмін знаннями та представлення, семантичний веб, інформаційна система, міркування на основі онтології та ін. Нижче наведено приклад представлення OWL та його пояснення.

Онтологія OWL складається з класів, властивостей та окремих осіб. Класи ієрархії в онтології формуються з суперкласами та підкласами. Різні типи властивостей, такі як зворотний, функціональний, зворотний, функціональні, транзитивні, симетричні, асиметричні, рефлексивні та несправжні властивості, забезпечують обмеження побудованої онтології [20]. Проблеми висновку можуть бути виконані за допомогою деяких алгоритмів обґрунтування. Алгоритм Tableau - це одне з найбільш широко використовуваних методів для аргументації в DL. Він використовується для доведення результату вирішення або обчислення складності. Розсуд дозволяє зробити висновок, заснований на побудові композиційних понять та ролей. Саме поняття D підпорядковане поняттю C, коли всі екземпляри D є також екземплярами C.

В якості робочого визначення, найбільш пристосованого для цілей комп'ютерної лінгвістики, можна взяти дефініцію, запропоновану Едвардом Хови [21]: «Онтологія - це структура даних з заданими в ній символами, що дозволяють представляти концептуалізації для обробки комп'ютерними програмами».

У штучному інтелекті онтології використовуються для формальної специфікації понять і відносин, які характеризують певну область знань. Оскільки комп'ютер не може розуміти, як людина, стан речей в світі, йому необхідно подання всієї інформації в формальному вигляді. Таким чином, онтології є своєрідною моделлю навколишнього світу, а їх структура така, що легко піддаються машинній обробці і аналізу. Онтології забезпечують систему відомостями про добре описаної семантиці заданих слів і вказують ієрархічну будову області, взаємозв'язок

елементів. Все це дозволяє комп'ютерним програмам за допомогою онтологій робити умовиводи з представленої інформації і маніпулювати ними [22]. Онтології використовуються також при побудові корпусу визначень, службовця довідковим матеріалом. Надалі результати цієї роботи можуть використовуватися для складних процедур обробки природної мови, наприклад, в знятті омонімії на основі контексту. Онтології можуть використовуватися для виведення умовиводів, необхідних для розуміння текстів на глибинно-семантичному рівні, що вимагається для високоякісного машинного перекладу і може служити базою для розширення і уточнення інформаційного пошуку. Глибокий аналіз тексту необхідний і для систем автоматичного реферування. Варто згадати, що також онтології можуть сприяти систематизації понять. На базі онтологій може здійснюватися автоматичне анотування та розбір текстів, яке в подальшому може використовуватися в першу чергу в інформаційному пошуку, а також при різних видах аналізу інформації.

3.2.1 Структура онтології

Розглянувши можливі змістовні інтерпретації поняття «онтологія», зупинимось докладніше на структурі онтології, її складових. У загальному вигляді структура онтології являє собою набір елементів чотирьох категорій:

- поняття;
- відносини;
- аксіоми;
- окремі екземпляри;

Поняття розглядаються як концептуалізації класу всіх представників якоїсь сутності або явища (наприклад, Тварина, Почуття). Класи (або поняття) є загальними категоріями, які можуть бути впорядковані ієрархічно. Кожен клас описує групу індивідуальних сутностей, які об'єднані на підставі наявності загальних властивостей. Поняття можуть бути пов'язані різного роду відносинами (наприклад, Довжина, Розташування), які пов'язують воедино класи і описують їх. Найпоширенішим типом відносин, що використовується у всіх онтологіях, є

ставлення категоризації, тобто віднесення до певної категорії. Цей тип відносин має ряд інших назв [23], що зустрічається в різних дослідженнях:

- таксономічне відношення;
- ставлення IS-A;
- клас - підклас;
- лінгвістика: гіпонім - гіперонім;
- Родовідове відношення;
- відношення a-kind-of

Аксіоми задають умови співвіднесення категорій і відносин, вони виражають очевидні твердження, що зв'язують поняття і відносини. Під аксіомою можна розуміти твердження, що вводиться в онтологію в готовому вигляді, з якого можуть бути виведені інші твердження. Вони дозволяють висловити ту інформацію, яка не може бути відображена в онтології за допомогою побудови ієрархії понять і установки різних відносин між поняттями. Як приклад аксіоми 10 можна навести таке висловлювання: «Якщо X смертний, то X коли-небудь помре». Аксіоми дозволяють надалі здійснювати умовиводи в рамках онтології. Вони можуть постачати дослідників інформацією про правила, що дозволяють автоматично додавати інформацію [24]. Аксіоми можуть також являти собою обмеження, що накладаються на будь-які відносини, які роблять можливим виведення умовиводів. Наведемо кілька прикладів таких обмежень. Понятійні обмеження вказують на те, який тип понять може виражати дане відношення (наприклад, властивість Колір може виражатися тільки поняттями категорії Колір). Прикладом числових обмежень є твердження того, що для Людини кількість біологічних батьків одно 2. Кількість і ступінь деталізації аксіом зазвичай залежать від типу онтології, про що буде докладніше сказано далі. Поряд із зазначеними елементами онтології в неї також входять так звані «екземпляри». У літературі вони можуть виступати також під назвами:

- конкретні екземпляри;
- інстанції;
- індивідуальні екземпляри.

Примірники - це окремі представники класу сутностей або явищ, тобто конкретні елементи будь-якої категорії (наприклад, екземпляром класу Людина буде королева Вікторія). Складові онтології підкоряються своєрідною ієрархії. На нижньому рівні цієї ієрархії знаходяться екземпляри, конкретні індивіди, вище йдуть поняття, тобто категорії. На рівень вище розташовуються відносини між цими поняттями, а узагальнюючої і сполучною є ступінь правил або аксіом. Як згадано в роботах [23] і [25], «терміну» онтологія »задовольняє широкий спектр структур, що представляють знання про ту чи іншу предметну область». Так до онтології можна віднести ряд структур, що відрізняються різним ступенем формалізованості:

- глосарій;
- проста таксономія;
- тезаурус (таксономія з термінами);
- понятійна структура з довільним набором відносин;
- повністю аксіоматизована теорія.

Однак в цих структурах не завжди представлені всі складові онтології, які описувалися в даному розділі.

3.2.1 Методи побудови онтологій

Досить ясно, що в основі онтології повинні лежати поняття, але виникає питання: як при побудові визначити поняття, ґрунтуючись на словах? Зазвичай сполучною ланкою стає категорія значення (лексико-семантичного варіанта). Слова існують в рамках однієї мови, значення ж незалежні від конкретної мови. Е. Хові [26] пропонує формальну процедуру виявлення понять на базі сукупності слів. Він пропонує алгоритм переходу від слів до значень, а потім до понять [27]:

- Ініціалізація: Для даного слова зберіть кілька десятків пропозицій, що містять його. Підберіть визначення з різних словників.
- Розташуйте значення слова в попередні, грубо схожі групи

- Процес диференціації: Почніть будувати дерево, розташувавши всі групи в корені
- Розглядаючи всі групи, визначте групу, найбільш відмінну від інших:
- Якщо ви можете знайти одну ясно виділяється групу, випишіть її найбільш яскрава відмінність в явній формі - воно послужить відмінною ознакою і буде формалізовано у вигляді аксіоми.
- Якщо відмінності, за якими можна далі поділити групу, не виявляються, зупиніть роботу з цією гілкою і перейдіть на іншу гілку
- Якщо буде виявлено кілька відмінностей, що дозволяють розділити групу кількома рівнозначними способами, також припиніть роботу з цією гілкою і перейдіть на іншу гілку .
- Створіть в деревної структурі дві нові гілки, розташуйте нову групу під однією гілкою, а решта під інший.
- Повторіть подальших дій, описаних 4, досліджуючи окремо групу / групи під кожною гілкою
- Формування понять: Коли розгалуження припиняється, кінцевим результатом є дерево все більш дрібних характерних ознак, які в явному вигляді перераховані на кожному рівні дерева. Кожен лист стає окремим поняттям, надалі не діленим у цій завданню (додатку, предметної області). Кожне відміну повинно бути формалізована у вигляді аксіоми, яка спрацьовує для гілки, з якою асоціюється.
- Додавання поняття в онтологію: Починаючи з вершини, пройдіть кожен вузол з розгалуженням. Чи мають вже створена і додається гілка приблизно одне й те саме значення?
- Якщо так, об'єднайте їх в онтології в потрібному вузлі і зупиніть проходження цієї гілки
- Якщо немає, розділіть дерево і повторіть крок 8 для кожної гілки. Повторюйте, поки не дійдете до кінця. Дослідження показують, що зазвичай понять виявляється менше, ніж значень-сміслів

— Однак існують і інші джерела знаходження нових понять. Для цих цілей можна використовувати вже існуючі онтології і різні списки, словники та тезауруси.

Ряд вимог до онтології можна знайти в роботі С. Ніренбурга і В. Раскіна:

- Ясність: онтологія повинна бути ясною і легко передавати мається на увазі. Вона повинна бути об'єктивною;
- Послідовність: в ній повинні міститися затвердження, які не суперечать один одному, ієрархії понять, що зв'язує їх відносинам, екземплярам.
- Можливість розширення: наявність можливості введення нових елементів без перегляду інших елементів;
- Мінімальна ступінь спеціалізації онтології: небажаність повного підпорядкування онтології конкретному завданні, що може ускладнити її подальше використання в інших завданнях.

Не можна стверджувати, що цей список вимог до онтології є вичерпним, але він може допомогти при прийнятті тих чи інших рішень, що стосуються структури онтології.

3.3 Середовище розробки Visual Studio 2017 та технології Windows Forms

Сучасна Microsoft Visual Studio — серія продуктів фірми Майкрософт, які включають інтегроване середовище розробки програмного забезпечення та ряд інших інструментальних засобів. Ці продукти дозволяють розробляти як консольні програми, так і програми з графічним інтерфейсом, в тому числі з підтримкою технології Windows Forms, а також веб-сайти, веб-застосунки, веб-служби як в рідному, так і в керованому кодах для всіх платформ, що підтримуються Microsoft Windows, Windows Mobile, Windows Phone, Windows CE, .NET Framework, .NET Compact Framework та Microsoft Silverlight [28].

Для розробки даного програмного застосунку було обрано технології Windows Forms.

На сьогодні Windows Forms дозволяє розробляти інтелектуальних клієнтів. Інтелектуальний клієнт — це програма з повнофункціональним графічним інтерфейсом, просте в розгортанні і оновленні, здатна працювати при наявності або відсутності підключення до Інтернету і використовує більш безпечний доступ до ресурсів на локальному комп'ютері в порівнянні з традиційними додатками Windows.

Отже, Windows Forms — це технологія інтелектуальних клієнтів для .NET Framework. Вона являє собою набір керованих бібліотек, що спрощують виконання стандартних завдань, таких як читання з файлової системи і запис в неї. За допомогою середовища розробки типу Visual Studio можна створювати інтелектуальні клієнтські програми Windows Forms, які відображають інформацію, запитують введення від користувачів і обмінюються даними з віддаленими комп'ютерами по мережі.

У Windows Forms форма — це видима поверхня, на якій виводиться інформація для користувача. Зазвичай додаток Windows Forms будується шляхом приміщення елементів управління на форму і написання коду для реагування на дії користувача, такі, як клацання миші, або натискання клавіш. Елемент управління — це окремий елемент призначеного для користувача інтерфейсу, призначений для відображення або введення даних.

При виконанні користувачем якої-небудь дії з формою або одним з її елементів управління створюється подія [28]. Додаток реагує на ці події за допомогою коду і обробляє події при їх виникненні.

Використана служба Windows Forms включає широкий набір елементів управління, які можна додавати на форми: текстові поля, кнопки, списки, що розкриваються, перемикачі та, навіть, веб-сторінки. Якщо існуючий елемент управління не задовольняє потребам, в Windows Forms можна створювати власні елементи управління за допомогою класу UserControl.

До складу Windows Forms входять багатофункціональні елементи призначеного для користувача інтерфейсу, що дозволяють відтворювати можливості таких складних додатків, як Microsoft Office. Використовуючи елементи управління ToolStrip і MenuStrip, можна створювати панелі інструментів і меню, що містять текст і малюнки, підміню і інші елементи управління, такі як текстові поля і поля зі списками.

За допомогою підтримуючого перетягування конструктора Windows Forms в Visual Studio можна легко створювати додатки Windows Forms. Досить виділити елемент керування курсором і помістити його в потрібне місце на формі. Для подолання труднощів, пов'язаних з вирівнюванням елементів управління, конструктор надає такі кошти, як лінії сітки і лінії прив'язки. І при використанні Visual Studio, і при компіляції з командного рядка можна використовувати елементи керування FlowLayoutPanel, TableLayoutPanel і SplitContainer для створення складних макетів форм за менший час.

Нарешті, якщо потрібно створити свої власні елементи призначеного для користувача інтерфейсу, простір імен System.Drawing містить широкий набір класів, необхідних для відтворення ліній, кіл та інших фігур безпосередньо на формі.

3.4 Мова програмування C#

Мова програмування C# спроектована і розроблена спеціально для застосування з .NET Framework.

Призначення .NET Framework — служити середовищем для підтримки розробки та виконання сильно розподілених компонентних додатків. Вона забезпечує спільне використання різних мов програмування, а також безпеку, можливість переносу програм і загальну модель програмування для платформи Windows.

Нижче наведений перелік базових функціональних можливостей платформи .NET.

Можливість забезпечення взаємодії з існуючим програмним кодом.

Ця можливість, безсумнівно, є дуже хорошою річчю, оскільки дозволяє комбінувати існуючі виконавчі одиниці COM (тобто забезпечувати їх взаємодію) з більш новими двійковими одиницями .NET і навпаки [29]. З виходом версії .NET 4.0 ця можливість стала виглядати навіть ще простіше, завдяки додаванню ключового слова `dynamic`.

Підтримка для численних мов програмування.

Додатки .NET можна створювати за допомогою будь-якого безлічі мов програмування (C #, Visual Basic, F #, S # і т. д.). При цьому в .NET код, написаний будь-якою мовою компілюється в код на проміжному мовою (Intermediate Language - IL).

Повна інтеграція мов.

В .NET підтримується міжмовне спадкування, міжмовна обробка виключень і міжмовна налагодження коду. При цьому .NET використовує загальний виконуючий механізм, основним аспектом якого є добре певний набір типів, який здатний розуміти кожен, що підтримує .NET мову.

Так само в .NET був повністю перероблений спосіб поділу коду між додатками за рахунок введення поняття збірки (assembly) замість традиційних бібліотек DLL. Складання володіють формальними засобами для управління версіями і допускають одночасне існування поруч кількох різних версій збірок.

Удосконалена підтримка для створення динамічних веб-сторінок.

Хоча в класичною технологією ASP пропонувалася досить високий ступінь гнучкості, її все одно не вистачало через необхідність використання інтерпретованих сценарних мов, а відсутність об'єктно-орієнтованого дизайну часто призводило до отримання досить заплутаного коду ASP.

В .NET пропонується інтегрована підтримка для створення веб-сторінок за допомогою ASP.NET. У разі застосування ASP.NET код створюваних сторінок піддається компіляції і може бути написаний будь-якою підтримує .NET мовою високого рівня, наприклад, C # або Visual Basic 2010. У новій версії .NET ця

підтримка покращилася ще більше, зробивши можливим застосування новітніх технологій на кшталт Ajax і jQuery.

Ефективний доступ до даних.

Набір компонентів .NET, відомий під загальною назвою ADO.NET, дозволяє отримувати ефективний доступ до реляційних баз даних і багатьма іншими джерелами даних. Також пропонуються компоненти, що дозволяють отримувати доступ до файлової системи і каталогам. Зокрема, в .NET вбудована підтримка XML, що дозволяє маніпулювати даними, імпортованими і такими, що експортуються на платформи, відмінні від Windows [28].

Установка з нульовим впливом

Складання бувають двох типів: колективні та приватні. Спільні збірки є звичайними бібліотеки, доступні всього програмного забезпечення, а приватні збірки призначені для використання тільки з певними програмами. Приватний збірки є повністю самодостатніми, тому процес їх установки виглядає просто. Ніякі записи реєстру не додаються; всі потрібні файли просто розміщуються у відповідній папці файлової системи.

Середовище Visual Studio 2017

Разом з .NET поставляється середовище розробки Visual Studio 2017, яка здатна однаково добре справлятися як з кодом на мові C++, C# і Visual Basic 2017, оскільки і з кодом ASP.NET або XML. У Visual Studio 2017 інтегровані всі найкращі можливості середовищ конкретних мов з усіх попередніх версій цієї чудової IDE-середовища.

Що нового в .NET Framework 4

Перша версія .NET Framework (1.0) була випущена в 2002 р і зустрінута з великим ентузіазмом. Версія .NET Framework 2.0 вийшла в 2005 р і отримала статус серйозного випуску. Версія .NET Framework 4 є ще одним серйозним випуском даного продукту з безліччю чудових нових можливостей.

У кожному випуску .NET Framework в Microsoft завжди намагалися робити так, щоб змін, які порушують цілісність попереднього розробленого коду, було якомога менше. Поки що їм вдавалося досить успішно справлятися з цим завданням.

Динамічна типізація

У світі програмування спостерігається значне зростання застосування динамічних мов, таких як JavaScript, Python і Ruby. З цієї причини в C # була додана можливість динамічної типізації (dynamic typing). Знати статичним чином, якими об'єкти можуть виходити в кінці, не завжди можливо.

Тепер замість використання ключового слова `object` і призначення цього типу всім сутностей можна надати можливість вирішувати це питання середовищі DLR (Dynamic Language Runtime - виконуючого середовища динамічного мови) безпосередньо під час виконання [29].

Динамічні можливості C # забезпечують кращу взаємодію (рисунок 3.2). З'являється можливість взаємодіяти з різними динамічними мовами і працювати з DOM набагато простішим чином. Крім того, полегшується робота з API-інтерфейсами COM для Microsoft Office.

Середа DLR входить до складу версії .NET Framework 4. Середовище DLR побудована на основі середовища CLR (Common Language Runtime - загальномовне виконуюча середа) для надання можливості пов'язувати разом все взаємодія з динамічними мовами.

Доступ до нового середовища DLR в C # виходить за допомогою нового ключового слова `dynamic`. Це ключове слово служить прапором для компілятора; при кожній зустрічі з ним компілятор буде розуміти, що мова йде про динамічний, а не звичайними статичними виклику.

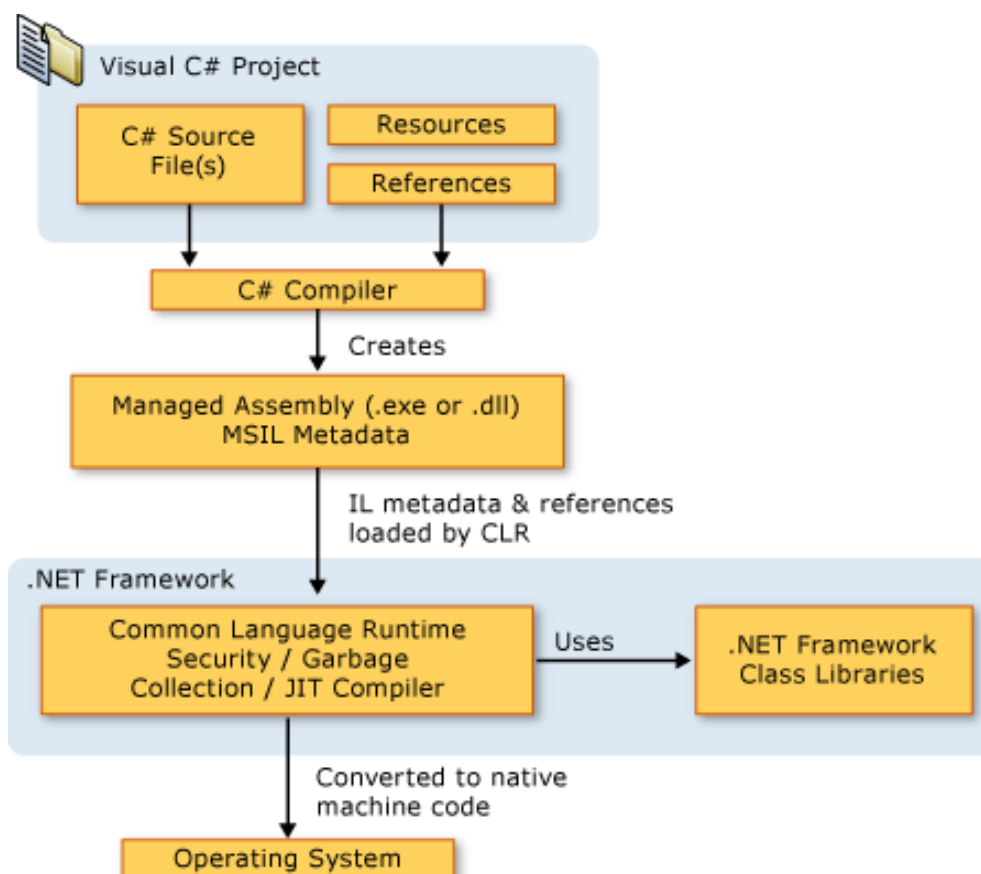


Рисунок 3.2 — Процес компіляції та “відносини” під час виконання файлів вихідного коду C#

3.5 RDF - інструмент для неструктурованих даних

До цих пір найбільш поширеною моделлю зберігання даних була реляційна, яка з кінця 70-х років і понині є стандартом де-факто на зберігання структурованих даних, а мова SQL - стандартом на їх обробку. Однак частка структурованих даних стає все менше, і реляційна модель відчуває все більше проблем при роботі зі значними обсягами даних - давно, наприклад, була помічена деградація продуктивності реляційних СУБД при вирішенні задач аналітичної обробки, характерними рисами яких є «довгі» SQL-запити, що працюють з декількома таблицями при наявності великого числа агрегатів [30].

Сьогодні завдання, що виходять за рамки реляційної моделі, прийнято відносити до класу NoSQL, кожен підклас якого вирішує ту чи іншу проблему,

погано реалізовану за допомогою SQL, - наприклад, бази даних з поколоночним зберіганням, документо-орієнтовані, графові, бази даних ключ-значення і об'єктні. Скажімо, бази даних ключ-значення застосовуються для задач, що характеризуються надзвичайно великими обсягами, відсутністю операцій join і обмеженими вимогами до оновлення даних (наприклад, тільки додавання). В силу свого обсягу такі бази свідомо розподілені, що, в свою чергу, означає повну відмову від транзакцій - така спрощена модель даних дає нові можливості підвищення продуктивності за рахунок широкого використання паралельних архітектур.

Ще один клас задач, важко вирішуваних на реляційній моделі, - це завдання на сильно пов'язаних даних або графові завдання. Спроби вирішення таких завдань на реляційній моделі призводять до непередбачуваного кількості з'єднань в запитах, тому для вирішення Графова завдань сьогодні найбільшого поширення набули RDF-сховища, головною перевагою яких є наявність добре опрацьованих стандартів комітету W3C на мову опису графів (Resource Description Framework, RDF) і на обробку графових даних (SPARQL - рекурсивний акронім: SPARQL Protocol And Rdf Query Language) [31].

Модель RDF виникла в кінці 90-х років, а в 2001 році в журналі Scientific American була опублікована відома стаття Тіма Бернерса Лі, яка проголошує прихід ери семантичної павутини (Semantic Web). З того часу в мережевому співтоваристві став лавиноподібно наростати інтерес до всього, що пов'язано з семантичної обробкою, в тому числі і до RDF, який в 2004 році був прийнятий як стандарт комітету W3C.

Основа RDF - це добре відоме фахівцям зі штучного інтелекту подання даних у вигляді тверджень (трійок, triples) суб'єкт-предикат-об'єкт, що описують спрямовану зв'язок від суб'єкта до об'єкта. Для ідентифікації суб'єктів, об'єктів і предикатів використовується ідентифікатор Uniform Resource Identifier (URI), що є узагальненням поняття URL. наприклад: суб'єкт / об'єкт

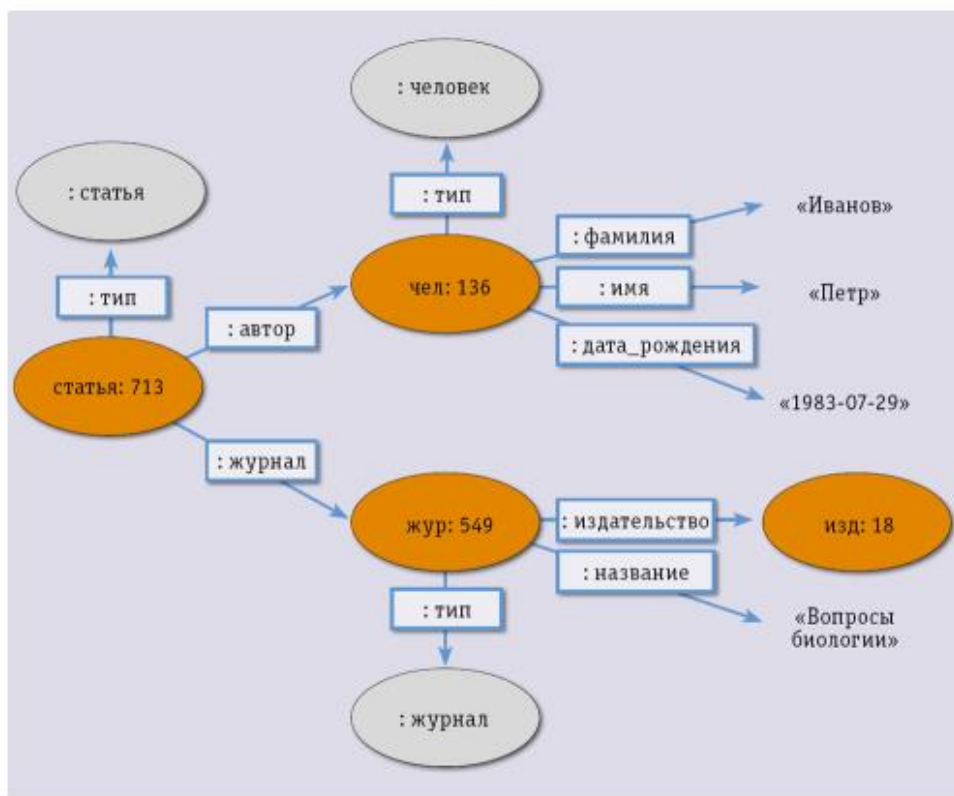


Рисунок 3.3 – приклад онтологічного графу

Модель RDF по суті описує орієнтований граф (рисунок 3.3), в якому кожна трійка - це опис відносини, тобто зв'язку між двома вузлами.

Модель RDF служить для опису даних, але не описує методів їх обробки. Існує цілий ряд мов запитів до RDF-даних: DQL, N3QL, R-DEVICE, RDFQ, RDQ, RDQL, SeRQL і т. Д., Але найпопулярнішим став SPARQL, прийнятий в якості стандарту W3C.

Після статті Тіма Бернерса Лі в суспільній свідомості модель RDF стала міцно асоціюватися з семантичною павутиною, проте потенціал цієї моделі набагато вище. Наприклад, більшість завдань, що вирішуються сьогодні в рамках реляційної моделі, легко можна вирішувати і на RDF. Крім того, RDF-сховища дозволяють збирати, зберігати і індексувати дані з різних джерел - зокрема, при вирішенні актуального завдання інтеграції сервісів, яка зводиться до об'єднання розрізнених реляційних баз в єдину базу і призводить до задачі обробки квазіструктурованих даних. Дані всередині кожної з баз строго структуровані для роботи з реляційною моделлю, але кожна база структурована по-своєму, тому завдання їх інтеграції в

рамках реляційної моделі вимагає реінжинірингу всього рішення. Якщо ж конвертувати такі бази в модель RDF, то інтеграція зведеться до простого злиття RDF-графів і переписування запитів з SQL в SPARQL, що не складає труднощів в силу набагато більшої виразності SPARQL в порівнянні з SQL.

RDF-сховища ідеально підходять для завдань, що вимагають обліку і виявлення великої кількості взаємозв'язків. Крім найбільш широко анонсованих завдань, пов'язаних з розвитком Semantic Web, існує велика кількість класичних задач, що вимагають застосування графових підходів [32]:

- обробка семантичних мереж (і інших графових структур), отриманих в результаті аналізу текстів (системи спеціалізованого аналітичного пошуку, системи аналізу ринків, маркетингові дослідження, аналіз текстів в системах безпеки та ін.);
- уявлення і обробка даних для аналізу поведінки в соціальних мережах (маркетингові дослідження, наприклад побудова портрета покупця; аналіз і виявлення центрів поширення інформації в соціальних мережах; аналіз політичних уподобань);
- аналіз і обробка даних про взаємодію різних модулів і підсистем (включаючи аналіз логів) для систем забезпечення надійності та безпеки великих програмно-апаратних комплексів;
- уявлення і обробка графів, що містять різноманітну інформацію в системах планування і управління веденням бойових операцій;
- обробка даних складних наукових експериментів;
- медичні системи нового покоління, особливістю яких є те, що, наприклад, різні послуги вимагають різних структур для свого опису, що дуже складно укладається в строгу реляційну модель. Як тільки медична система починає враховувати не тільки сам факт послуги, але і її деталізацію, то складність системи різко зростає - наприклад, послуга «огляд лікаря» і послуга «клінічний аналіз» мають з точки зору реляційної моделі абсолютно різну структуру даних, а RDF дозволяє обробляти такі дані природним чином, істотно скорочуючи трудовитрати на розвиток і супровід подібних систем;

- інтелектуальні адаптивні системи управління виробництвом, які мають яскраво виражену графову структуру;
- фінансовий аналіз, заснований на моделюванні і обробці графів, що описують взаємодію учасників ринку, виявлення афілійованих компаній, корупційний аналіз, аналіз руху коштів структур і т. д.

Практично всі завдання, в яких кількість взаємозв'язків між сутностями перевищує кількість сутностей або основною метою яких є аналіз взаємозв'язків, можуть розглядатися як кандидати на рішення засобами систем RDF.

Висновок до розділу 3

Програмний застосунок дозволяє провести оцінку технічного стану силового трансформатора, базуючись на системі правил, що були розроблені Дювалем, Роджерсом та Доєрнбургом, а також за допомогою розробленої онтологічної моделі. Дані алгоритми реалізовані на мові C# з використанням XmlSerializer для роботи із xml-подібними файлами, за допомогою Windows Forms. Присутнє графічне моделювання результатів виконано за допомогою бібліотек Live Charts та Drawing2D.

4. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ДІАГНОСТУВАННЯ

Програмний продукт для інтелектуального діагностування силових трансформаторів складається із кількох модулів: інтерфейс користувача, обробка завантажених даних про стан розчинених газів в приладі в певний момент часу, модулі для моніторингу на основі методів, що використовують систему правил, модуль, що для моніторингу використовує базу знань та графічний модуль.

Програма написана на мові C# із застосуванням бібліотек LiveCharts та Drawing2D для графічного відображення.

Загальна схема роботи виглядає. Як показано на рисунку 4.1.

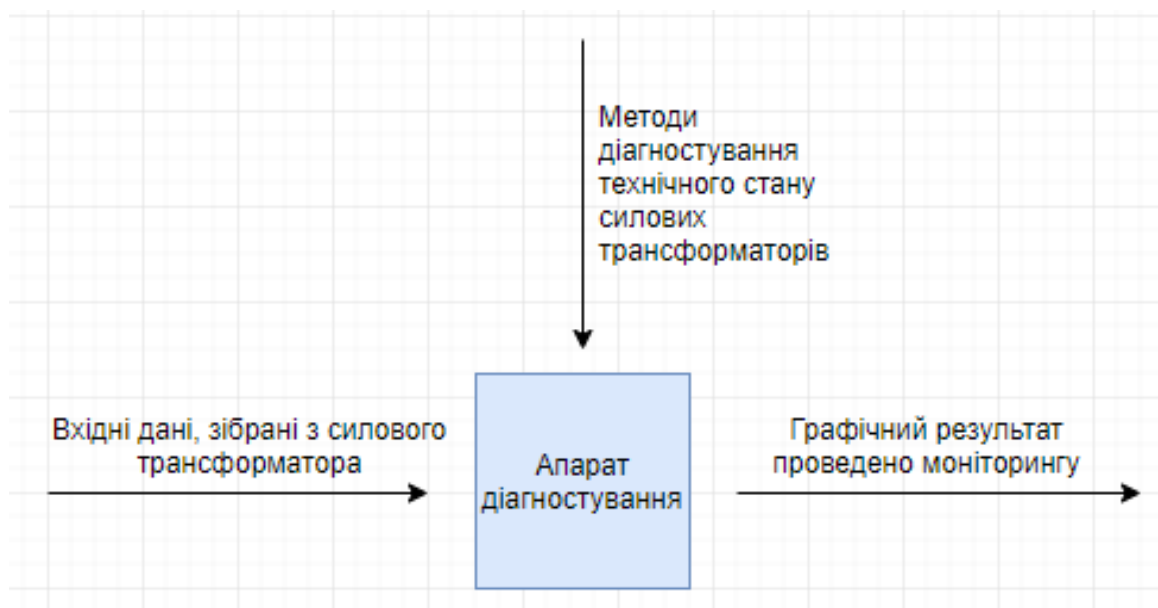


Рисунок 4.1 – Загальна схема роботи додатку

Програмний продукт, створений для інтелектуального діагностування силових трансформаторів передбачає наявність одного та головного актора – користувача системи. Кожному актору є доступним весь функціонал розробленого програмного модулю.

Діаграма процесів зображена на рисунку 4.2.

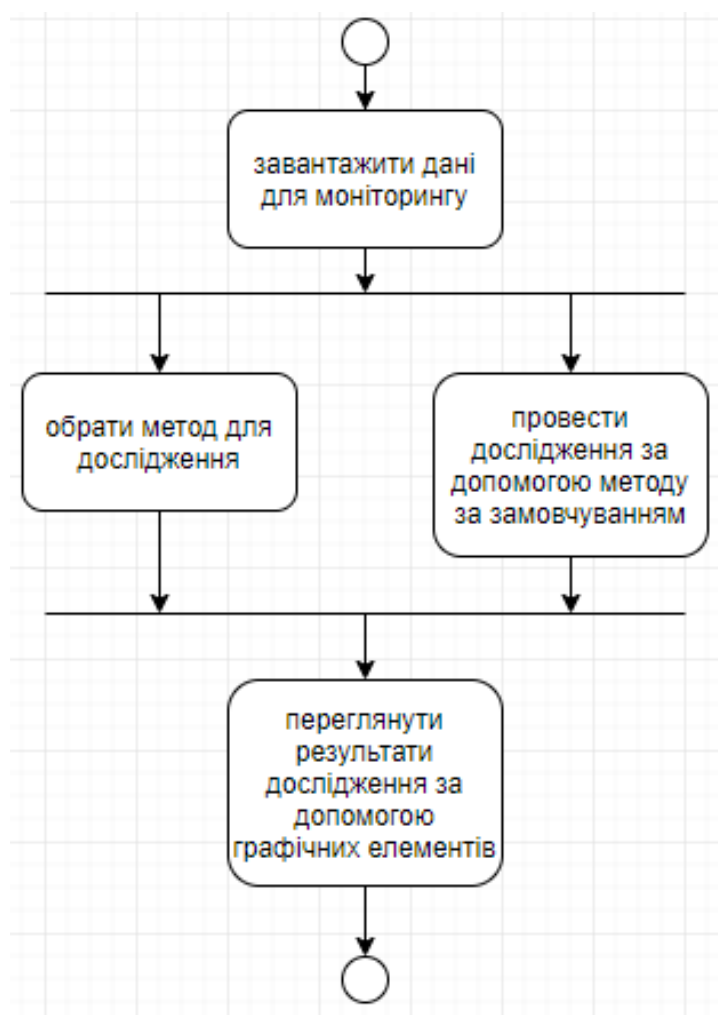


Рисунок 4.2 – Діаграма процесів

Далі описано самі методи, що використовувалися для реалізації поставленої задачі.

Одним з найбільш поширених (і цікавих з огляду на перспективи реалізації у вбудованих системах діагностування) способів аналізу концентрацій розчинених газів є застосування трикутника Дюваля [33]. Основна увага в трикутнику Дюваля приділено трьом газам – метану (CH_4), ацетилену (C_2H_2) і етилену (C_2H_4).

Кожен з цих газів відкладається по своїй осі в розмірності від нуля до ста відсотків (рисунок 4.3), утворюючи рівносторонній трикутник. Точка перетину ліній, побудованих для концентрації цих трьох газів, потрапляє в одну з семи зон трикутника Дюваля, кожна з яких відповідає певному дефекту трансформатора, що викликав насичення масла виявленими концентраціями газів [34].

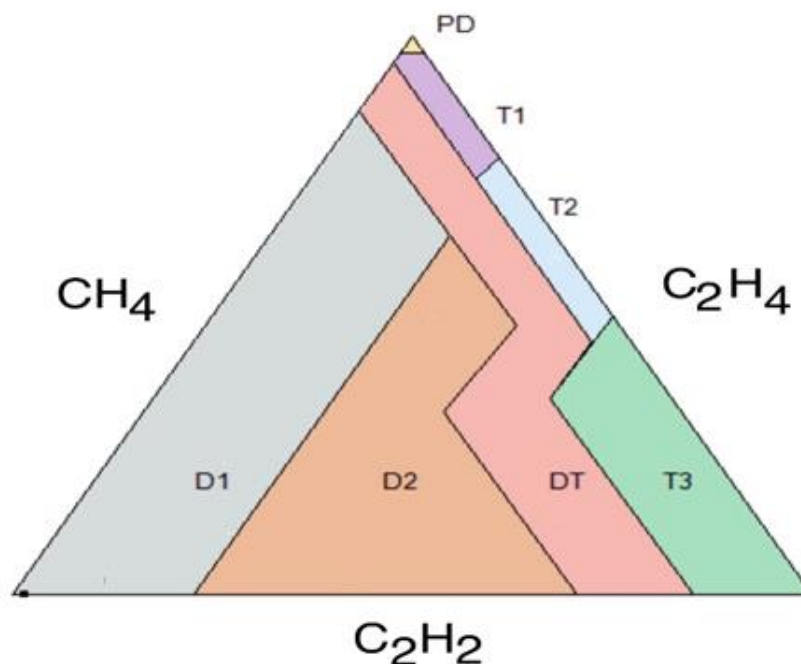


Рисунок 4.3 – Трикутник Дюваля

Всього розглядається сім дефектних станів:

- D1 – зона часткових розрядів низької енергії.
- D2 – зона часткових розрядів високої енергії.
- T1 – зона термічного дефекту з температурою менше 300 градусів.
- T2 – зона термічного дефекту з температурою 300 - 700 градусів.
- T3 – зона термічного дефекту з температурою понад 700 градусів.
- DT – зона розрядів і термічного дефекту.
- PD – зона часткових розрядів.

Характерні риси сучасного розвитку технологій контролю і діагностики стану трансформаторів базуються на використанні інтелектуальних систем для аналізу результатів вимірювань, врахування умов роботи обладнання, передісторії його експлуатації, постановки діагнозу, видачі рекомендацій оперативному персоналу та прийняття рішення про подальшу працездатності трансформатора. У зв'язку з вищевикладеним, система діагностики трансформатора повинна включати параметри технічного стану силового трансформатора, включаючи статистичні та оперативні дані, що сигналізують про зародження і розвиток дефектів. В інформаційній базі системи необхідно зберігати дані аналізів і результати

вимірювань і випробувань. Діагностична система повинна базуватися на кількох видах оцінки: застосування експертної бази, використання оперативних даних, рекомендації нечіткої логіки, висновків нейронної логіки, оптимізації біогенезисних алгоритмів. Представлені види оцінки для прогнозування стану трансформатора повинні мати структурні взаємозв'язку різних типів: «або», «і чи», «якщо», «що якщо», «або якщо, то» і т. д.

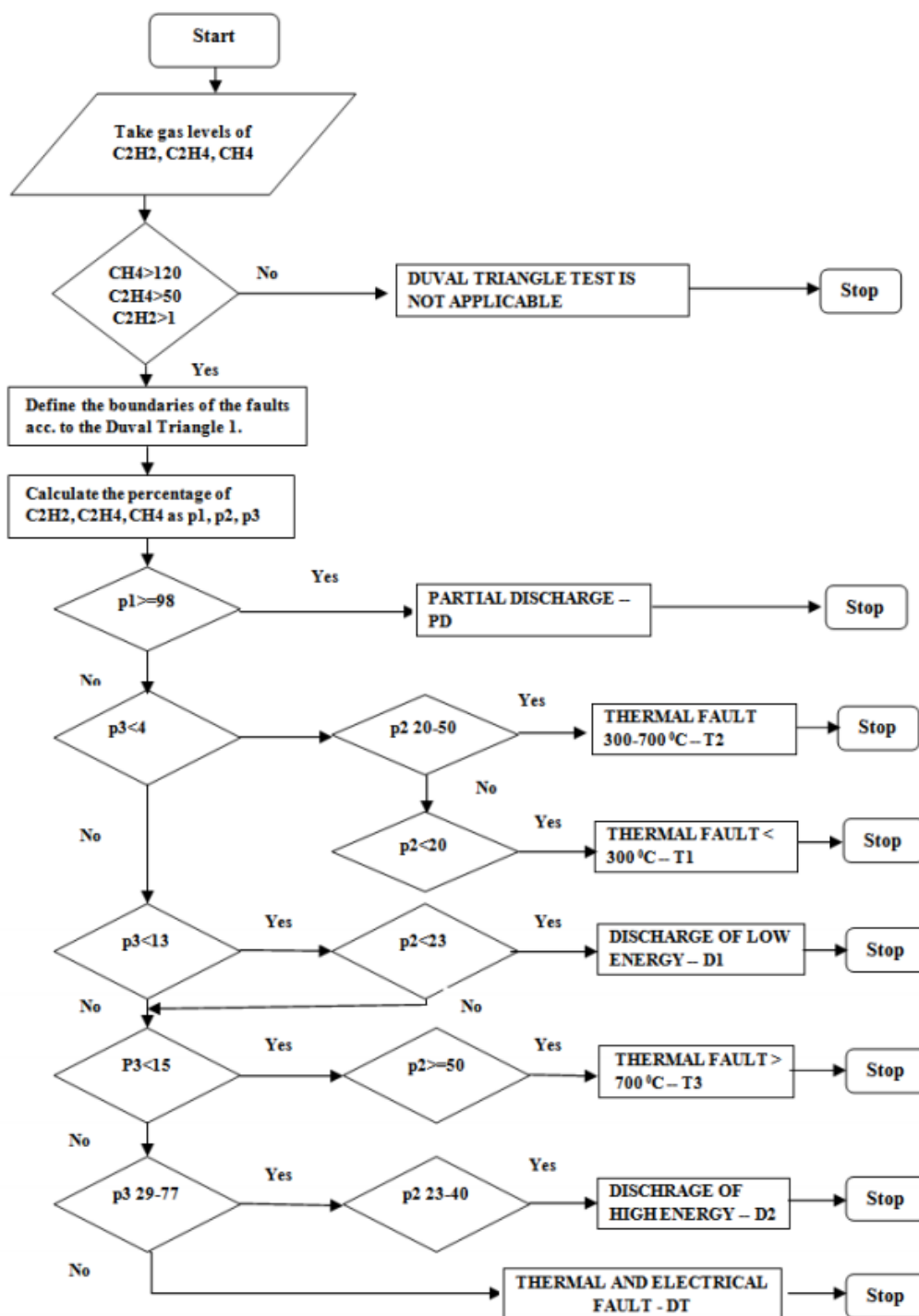


Рисунок 4.4 – Програмна реалізація методу трикутник Дюваля

Реалізація задачі оцінювання технічного стану трансформатора за методом Дюваля пропонується на базі об'єктно-орієнтованої мови програмування С# та є однією із тих, що ґрунтуються на попередньо сформованій базі знань (рисунок 4.4).

Межі семи основних зон трикутника Дюваля формуються у відсотковому відношенні газів CH_4 , C_2H_4 та C_2H_2 , від 0 до 100% відповідно [35]. Для відображення кожного полігону, визначені концентрації кожного із газів переведено в декартові координати та відповідно до алгоритму визначено зону, якій вони належать.

Трикутник розділено на зони використовуючи об'єкт класу Graphics бібліотеки System.Drawing.Drawing2D та метод AddPolygon() із переданими параметрами вершин багатокутника, які потрібно виокремити. Колір заданому багатограннику надано через метод SolidBrush(), а надпис для зони – за допомогою DrawString().

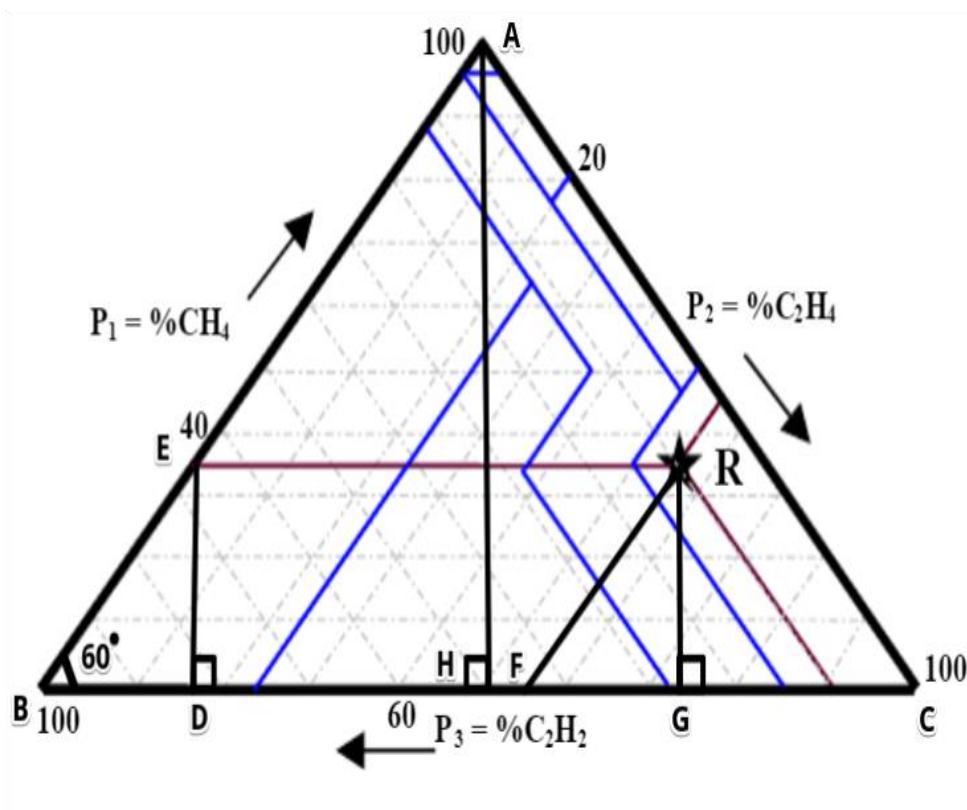


Рисунок 4.5 – Визначення декартових координат шуканої точки всередині трикутника

Точка, як результат перетину ліній концентрацій газів, додана за допомогою методу AddEllipse(). На рисунку 4.5 схематично зображена послідовність дій для

визначення декартових координат шуканої точки, що отримується в результаті перетину прямих, які проходять через точки-значення газів, що відкладаються на ребрах трикутника.

А далі математично описаний процес знаходження точки, що належить трикутнику Дюваля.

Нехай P_1 , P_2 , P_3 – це виміряні концентрації газів CH_4 , C_2H_4 , C_2H_2 відповідно, а сторони трикутника $AB = BC = AC = L$. Тоді із EBD: $ED = BE * \cos 30 = P_1 * L * \cos 30 = RG$, а з ABC: $AN = AB * \cos 30 = L * \cos 30$. З цього слідує, що $ED = RG = P_1 * AN$, тому буде вірним вираз $R_y = B_y + P_1 * L * \cos 30$.

З подібності трикутників ABH та RFG впливає рівність $FR/AB = RG/AN = P_1 * AN/AN = P_1$, тому $FR = P_1 * AB = P_1 * L$, а для трикутника RFG : $FG = FR * \cos 60 = P_1 * L * \cos 60$, $BG = BF + FG = P_2 * L + P_1 * L * \cos 60 = L * (P_2 + P_1 * \cos 60)$, тому буде правильним твердження, що $R_x = B_x + L * (P_2 + P_1 * \cos 60)$.

Отже, координати точки $R(R_x, R_y)$ можна знайти за формулами:

$$R_x = B_x + L * (P_2 + P_1 * \cos 60),$$

$$R_y = B_y + P_1 * L * \cos 30.$$

Іншими відомими, проте не найбільш поширеними способами аналізу концентрацій розчинених газів є застосування методів Доєрнбурга та Роджерса, що також реалізовані в даному програмному застосунку.

Метод Доєрнбурга [36] використовує чотири типи співвідношення газу: $R1 = CH_4 / H_2$, $R2 = C_2H_2 / C_2H_4$, $R3 = C_2H_2 / CH_4$, $R4 = C_2H_6 / C_2H_2$ для діагностики трьох основних типів несправностей, такі як термічна несправність, частковий розряд і дуг.

Для початку визначаються значення відношення газів для кожної із чотирьох груп, якщо хоч для однієї із пар результативне значення перевищує допустиму норму, яку можна переглянути в таблиці, то на наступному етапі визначається тип помилки, щоб з'ясувати, чи існує проблема з пристроєм, в залежності від отриманих даних.

Цей метод є частиною стандарту IEEE C57.104-2008 на основі принципів термічної деградації. У випадку відсутності точних співвідношень розчинених елементів газів в трансформаторному маслі, реалізація цього методу може призвести до значної кількості випадків, коли досконало визначити тип недоліку буде неможливо.

Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК) представила діагноз розладів у силових трансформаторах на основі методу Роджера, використовуючи лише три газоподібних показника.

Відповідно до методу Роджера, кількість різних газів порівнюється, розділяючи їх один на інший і представляючи результат у співвідношенні ключових газів [37]. Таким чином, метод Роджера передбачає, що певне співвідношення газу вказує на досягнення певної температури.

Наявність певних несправностей була доведена порівнянням великої кількості трансформаторів різної потужності з подібними співвідношеннями газу та вивченням даних за методом Роджера. Однак метод співвідношення Роджера є лише додатковою технікою при аналізі проблем в силових трансформаторах.

Як і інші методи співвідношення, це справедливо лише у випадку значної наявності газів, на основі яких відбувається дослідження. Класифікація несправностей за методом співвідношення ІЕС показана в таблиці 3.3. Несправності підрозділяються на вісім типів, що дозволяє робити припущення про тип помилки для силового трансформатора.

Наприклад, припустимо, що газ, розчинений у зразку масла, (в ppm): $C_2H_2 = 2$, $CH_4 = 170$, $H_2 = 26$, $C_2H_4 = 25$, $C_2H_6 = 278$, $CO = 92$ і $CO_2 = 3125$. Співвідношення можна розрахувати так:

$$R1 = CH_4 / H_2 = 170/26 = 6,54$$

$$R2 = C_2H_2 / C_2H_4 = 2/25 = 0,08$$

$$R5 = C_2H_4 / C_2H_6 = 25/278 = 0,09$$

Посилаючись на таблиці 3.3, співвідношення газів вказує на те, що трансформатор має термічну несправність в діапазоні температур від 150 °C до 300 °C, що є випадком 6.

Оскільки трансформатор є одним з найважливіших енергосистеми, його надійність є головною проблемою в роботі енергосистеми.

Моніторинг стану в режимі реального часу та діагностика несправностей силового трансформатора допомагають підвищити його надійність і запобігати більш серйозним проблемам.

Система діагностики несправностей з міркуваннями на основі онтології забезпечує всебічну базу знань, яку можна використати іншою програмою [38]. З цією метою розроблена система діагностики несправностей, яка ґрунтується на міркуваннях онтології.

На рисунку 4.6 зображено MAS-схему для діагностики дефектів силового трансформатора на основі міркувань онтології:

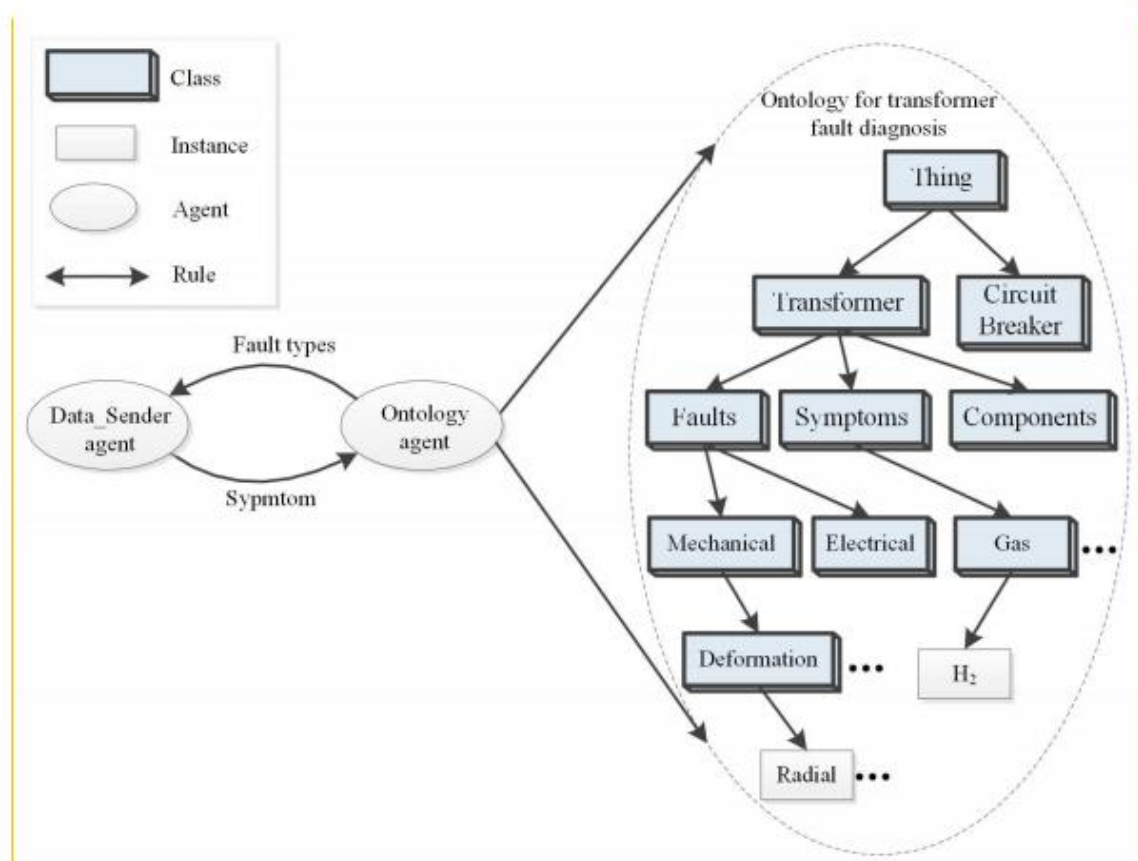


Рисунок 4.6 - MAS для діагностики несправності силового трансформатора на основі міркувань онтології

Насправді, через складність механізму порушень трансформатора, існує безліч типів симптомів та несправностей. Для побудови відповідної онтології діагностики

несправностей силового трансформатора визначаються три різні категорії, а саме: помилка, симптом і компонент. Підсумок несправностей збирається у категорії порушень, обмежений деякими типами властивостей до категорії симптомів.

Наприклад, помилка А має симптом В, тому помилка А може бути діагностована шляхом спостереження за симптомом В [39]. Крім того, категорія компонентів зв'язується через деякі властивості до категорії несправностей, що відображає зв'язок між несправностями та компонентами.

Ці три категорії та їхні відносини використовуються як основні поняття міркування онтології для діагностики дефектів трансформатора.

Елементи розробленої онтології показані на рисунку 4.7.

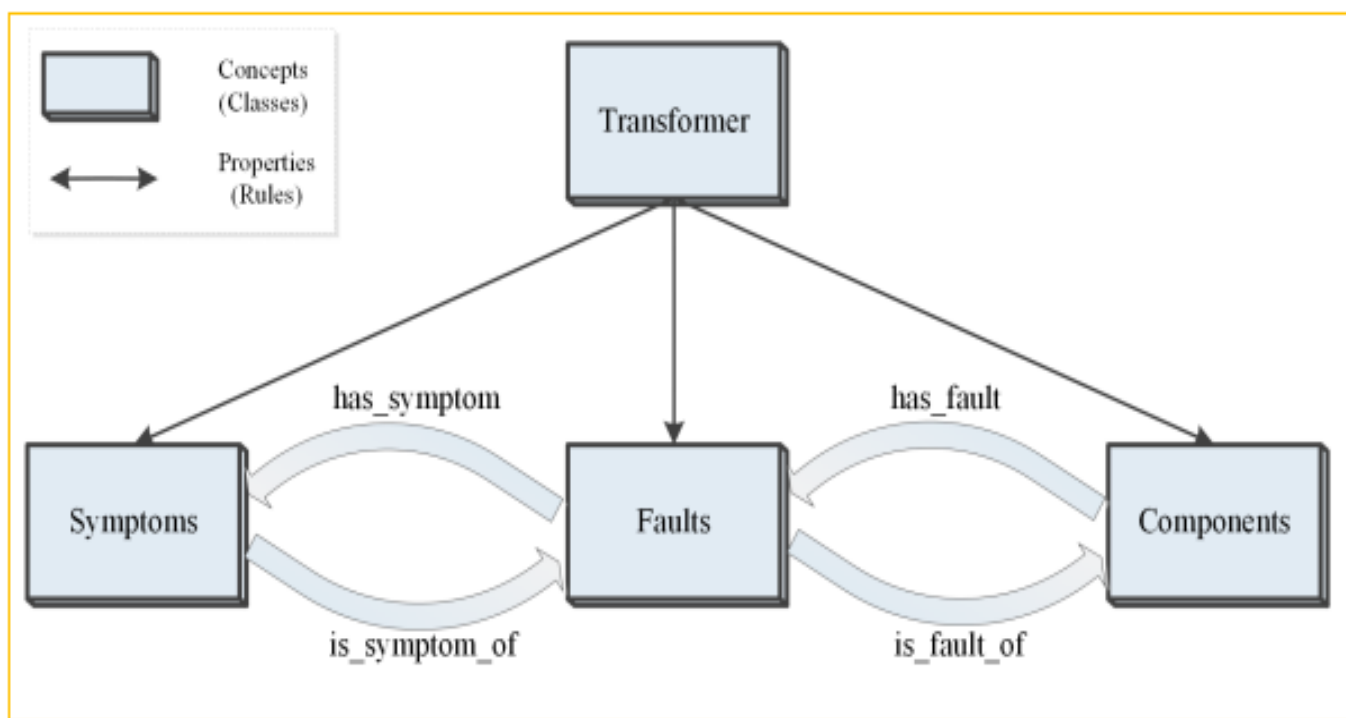


Рисунок 4.7: Основні класи запропонованої онтології для діагностики несправностей силового трансформатора

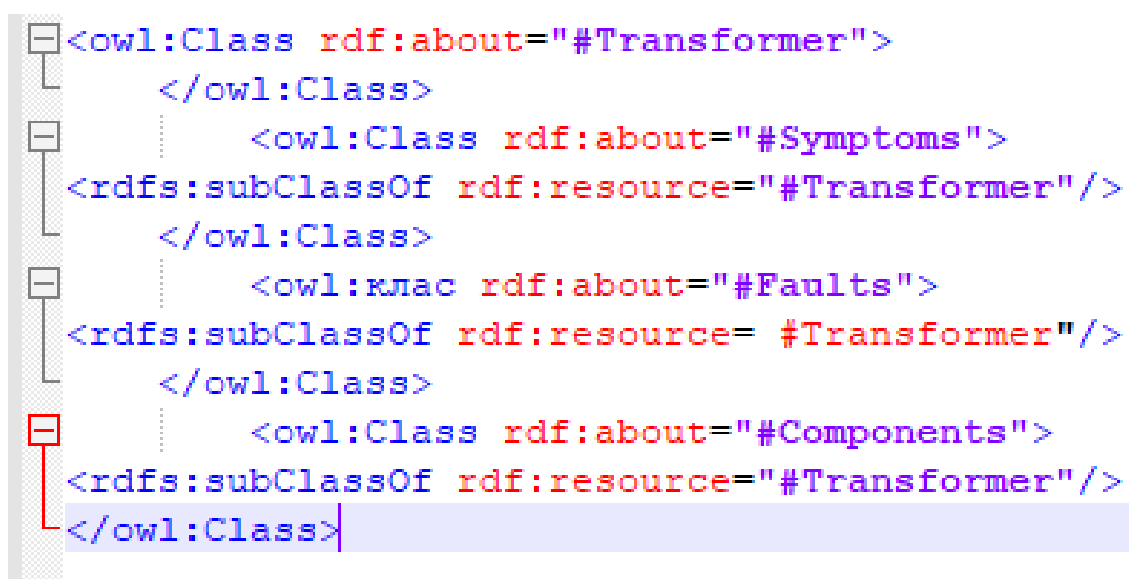
Виходячи з структури онтології, компоненти розробленої онтології для діагностики несправностей силового трансформатора визначаються таким чином:

Розглянемо таку одиницю онтологічної моделі, як клас.

Розроблена онтологія складається з трьох основних класів: компонентів, симптомів і несправностей, і, отже, кожен з них визначається як підклас класу Трансформатор, як описано в наступних аксіомах:

- Symptoms \sqsubseteq Transformer
- Faults \sqsubseteq Transformer
- Components \sqsubseteq Transformer

де ці аксіоми представлені в OWL як на рисунку 4.8.



```

<owl:Class rdf:about="#Transformer">
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:about="#Symptoms">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Transformer"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:about="#Faults">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Transformer"/>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:about="#Components">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Transformer"/>
  </owl:Class>

```

Рисунок 4.8 – Основні класи в онтології для оцінки технічного стану силового трансформатора

Синтаксис у прикладі вище визначає, що існує поняття Transformer з трьома підкласами Symptoms, Defects та Components, побудованими в OWL [40].

Несправності у силовому трансформаторі можна розділити на п'ять видів: електричні, термічні, механічні, деградація та старіння (Electrical, Thermal, Mechanical, Degradation, Ageing). Ці п'ять типів визначаються як підкласи класу «Помилки» (Faults).

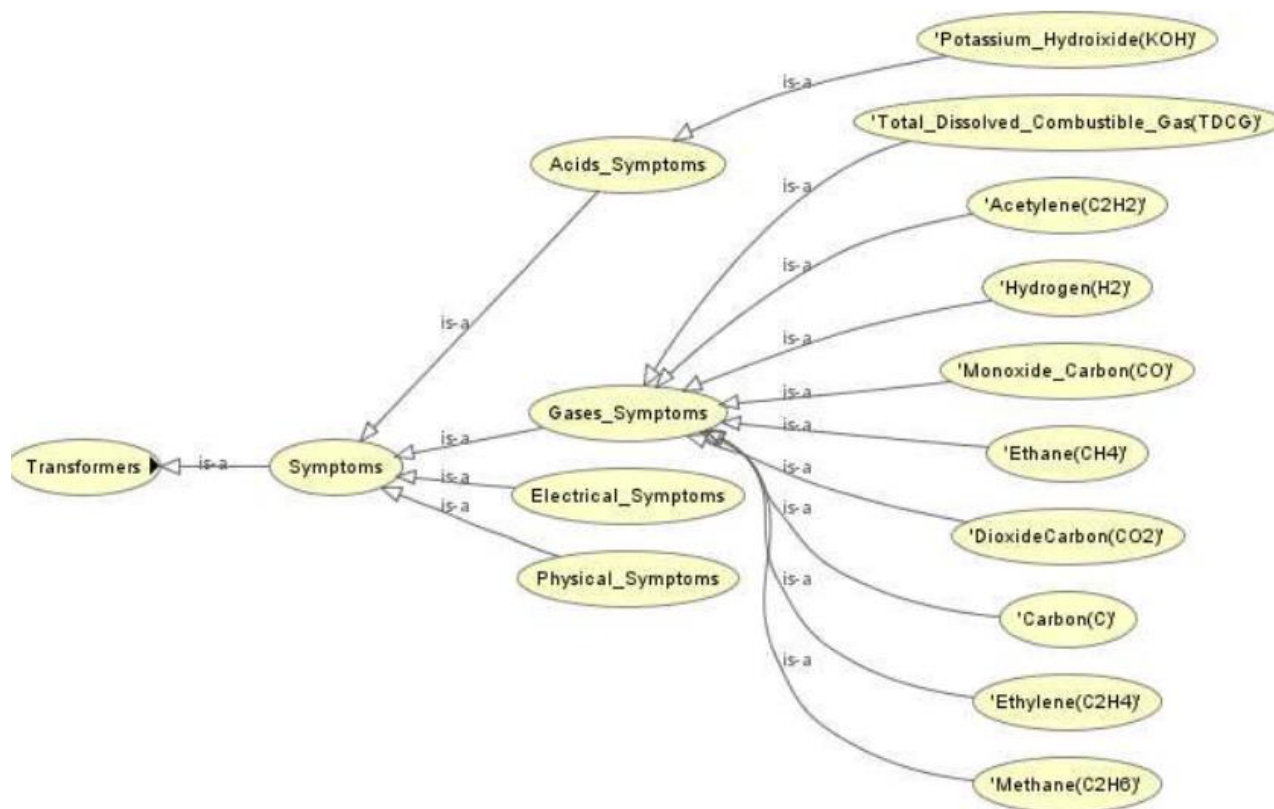


Рисунок 4.9 – Клас «Симптоми» та його підкласи онтологічної моделі

Типи симптомів можуть бути представлені, такі як кислотність, температура, електричні та фізичні симптоми (Acidity, Temperature, Electrical, Physical), які визначаються як підкласи класу «Симптомів» (Symptoms). На рисунку 4.9 схематично зображено клас «Симптоми» із його підкласами для побудови онтологічної моделі.

Аналогічним чином, клас «Компоненти» (Components) містить компоненти силового трансформатора, такі як намотування, система охолодження, крани, масло (Winding, Cooling system, Taps, Oil) тощо, визначені як його підкласи [41].

Властивості забезпечують бінарні відносини класів або окремих осіб. Є два основних типи властивостей: властивості об'єкта та властивості типу даних. Вони забезпечують різні атрибути класів. Застосовуються дві категорії властивостей, “has category” та “is category of” з зворотними характеристиками один до одного.

Зворотні властивості вказують на те, що якщо властивості посилають окремий х на індивідуальний у, тоді зворотне властивість пов'язує окремий у з індивідуальним

х. У цьому дослідженні властивість категорії є зворотною для категорії властивостей (рисунок 4.10).

$$1. \text{has_category} = \left\{ \begin{array}{l} \text{has_fault} \\ \text{has_symptom} \\ \text{has_component} \end{array} \right\}$$

$$2. \text{is_category_of} = \left\{ \begin{array}{l} \text{is_fault_of} \\ \text{is_symptom_of} \\ \text{is_component_of} \end{array} \right\}$$

Рисунок 4.10 - Узагальнення прикладних властивостей

Protege є потужним інструментом для підтримки OWL; він заснований на графічному редакторі [42]. Редактор онтології Prot'eg'e підтримує SHIQ (D). На рисунку 4.11 представлена розроблена онтологія діагностики несправностей силового трансформатора.

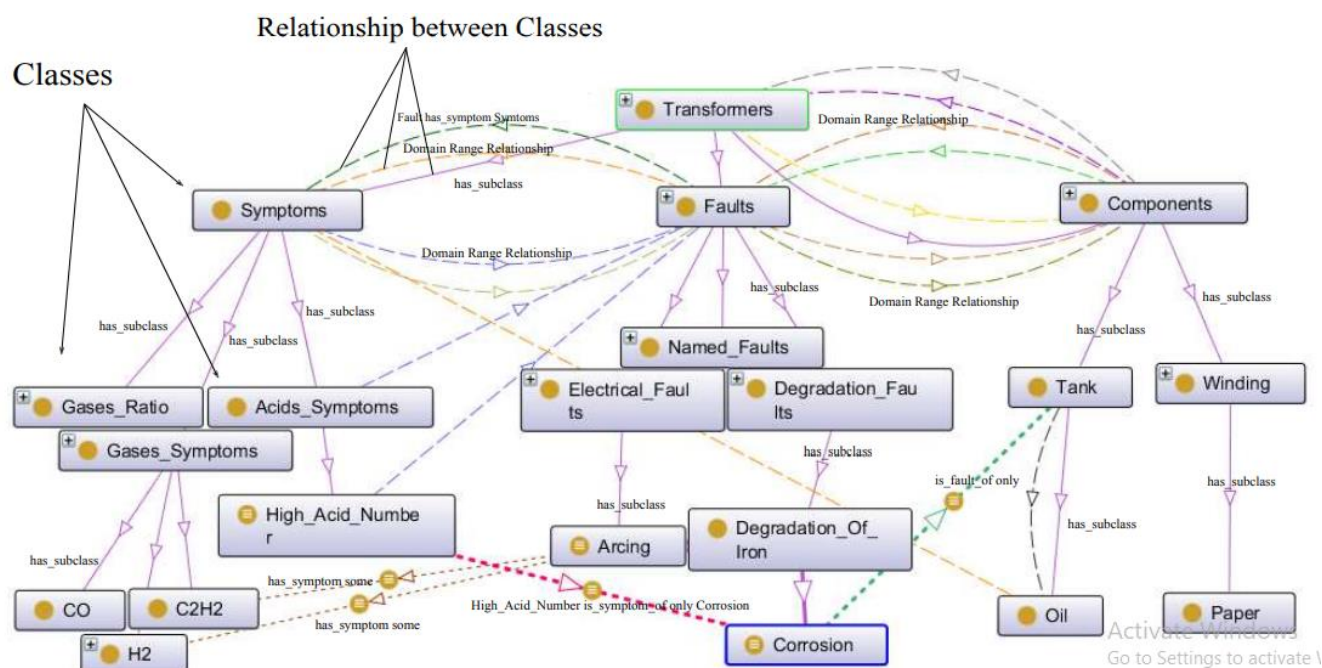


Рисунок 4.11: Онтологія діагностики технічних несправностей силового трансформатора

Відповідно, даючи симптоми, можна виявляти типи несправностей; а відповідні компоненти ідентифікуються шляхом надання типів несправностей. Зв'язок між розвиненою онтологією та силовим трансформатором на підстанції може оброблятися агентом [43].

Читання та отримання даних із генерованої онтологічної моделі виконується за допомогою десереалізації. Сераалізація представляє процес перетворення будь-якого об'єкта в потік байтів. Після перетворення ми можемо цей потік байтів або записати на диск або зберегти його тимчасово в пам'яті.

А при необхідності можна виконати зворотний процес - десереалізацію, тобто отримати з потоку байтів раніше збережений об'єкт. Для десереалізації об'єктів із файлів типу xml використовується клас XmlSerializer.

Висновок до розділу 4

Для того, щоб система, основана на знаннях, була корисною для різних програм, була представлена онтологічна DL. Для цього було розроблено онтологію для діагностики несправностей силового трансформатора. Онтологічні агенти призначені для взаємодії з розвиненою онтологією з метою забезпечення інформації в реальному часі (наприклад, реагувати на симптоми), щоб діагностувати типи несправностей. А для порівняння додатково було реалізовано оцінку технічного стану силового трансформатора методами, основаними на системі правил: Дюваля, Роджерса та Доєрнбурга.

5. ІНСТРУКЦІЯ РОБОТИ ПРОГРАМИ

Після запуску програми користувач бачить діалогове вікно (рисунок 5.1), в якому пропонується самостійно вказати повний шлях до файлу із даними, який повинен бути типу .xlsx. Ввести шлях, за яким програмному застосунку буде відомо звідти брати дані, зняті із силового трансформатора, можна або самостійно в текстове поле для вводу, або ж через кнопку «Select».

А за допомогою кнопки «Start» запускається головне вікно програми, а також дані, що знаходяться у файлі, шлях до якого було вказано на попередньому кроці, вивантажуються в таблицю та розпочинається процес їх обробки. Для роботи онтологічної моделі використовується .owl файл, який лежить поряд із виконуючим модулем програмного застосунку, є xml-подібним за структурою та містить розроблену онтологічну модель.

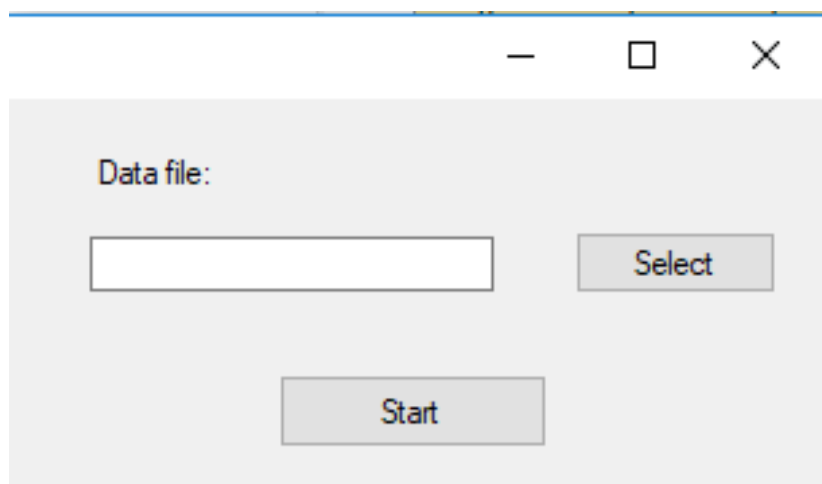
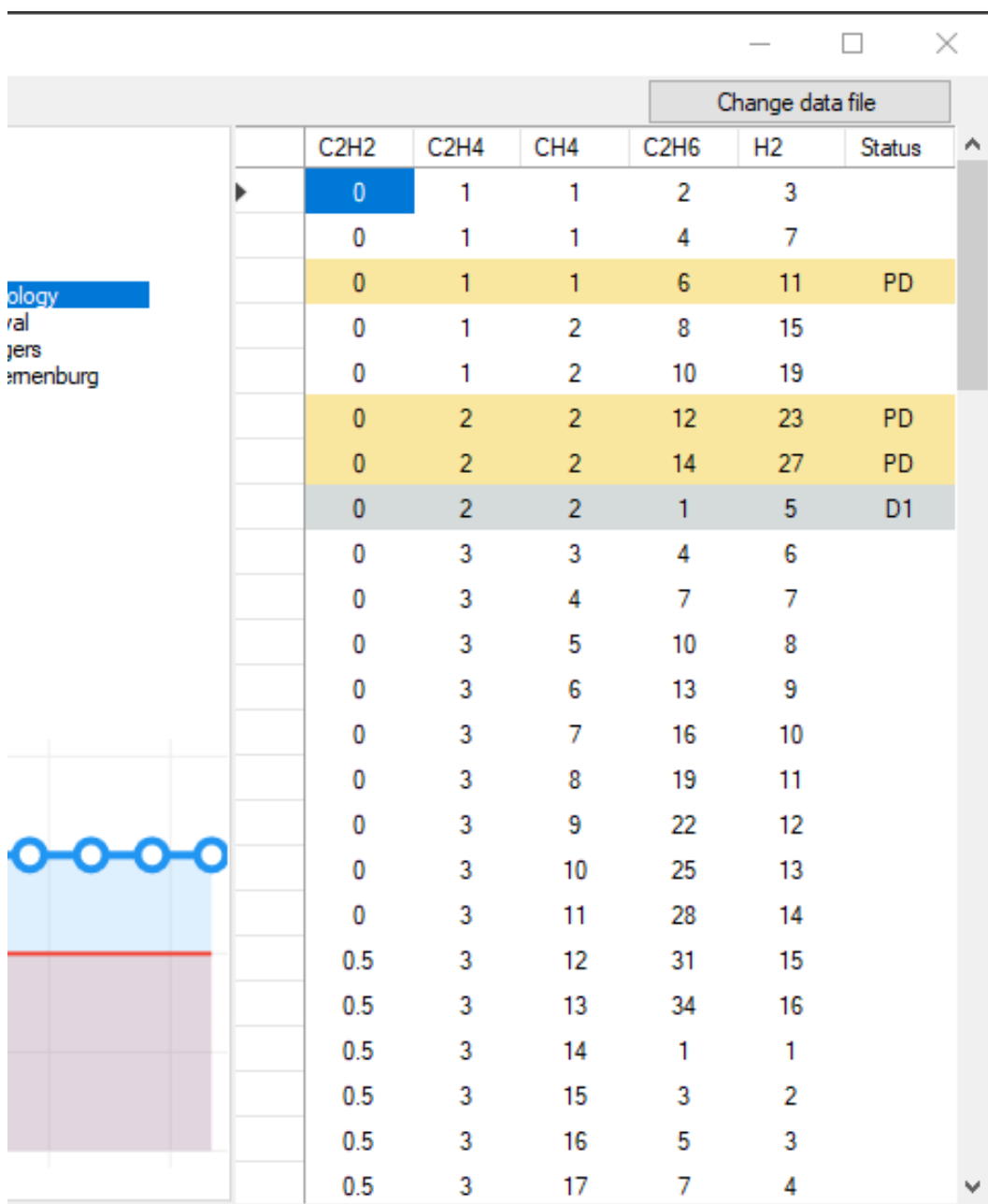


Рисунок 5.1 – Діалогове вікно програми

Користувач також має можливість змінювати файл із даними, що обробляється. Для цього на головному вікні програмного застосунку є кнопка «Change data file» (рисунок 5.2), що повторно викликає діалогове вікно та пропонує ще раз ввести самостійно, або знайти та обрати відповідний файл на локальному комп'ютері



	C2H2	C2H4	CH4	C2H6	H2	Status
	0	1	1	2	3	
	0	1	1	4	7	
	0	1	1	6	11	PD
	0	1	2	8	15	
	0	1	2	10	19	
	0	2	2	12	23	PD
	0	2	2	14	27	PD
	0	2	2	1	5	D1
	0	3	3	4	6	
	0	3	4	7	7	
	0	3	5	10	8	
	0	3	6	13	9	
	0	3	7	16	10	
	0	3	8	19	11	
	0	3	9	22	12	
	0	3	10	25	13	
	0	3	11	28	14	
	0.5	3	12	31	15	
	0.5	3	13	34	16	
	0.5	3	14	1	1	
	0.5	3	15	3	2	
	0.5	3	16	5	3	
	0.5	3	17	7	4	

Рисунок – 5.2 – Частина головного вікна програмного застосунку, де присутня кнопка для повторного виклику діалогового вікна

На головному вікні програми розташовані два основних елементи – панель управління вкладками, яка відповідає за коректне відображення та роботу всіх графічних інтерпретацій даних, та таблиця, у яку вивантажують дані із обраного файлу, а в процесі роботи програмного застосунку за допомогою кольору та додаткової колонки «Status» надає інформацію щодо типу помилки, що виникла в силовому трансформаторі.

Приклад роботи головного вікна програми зображено на рисунку 5.3

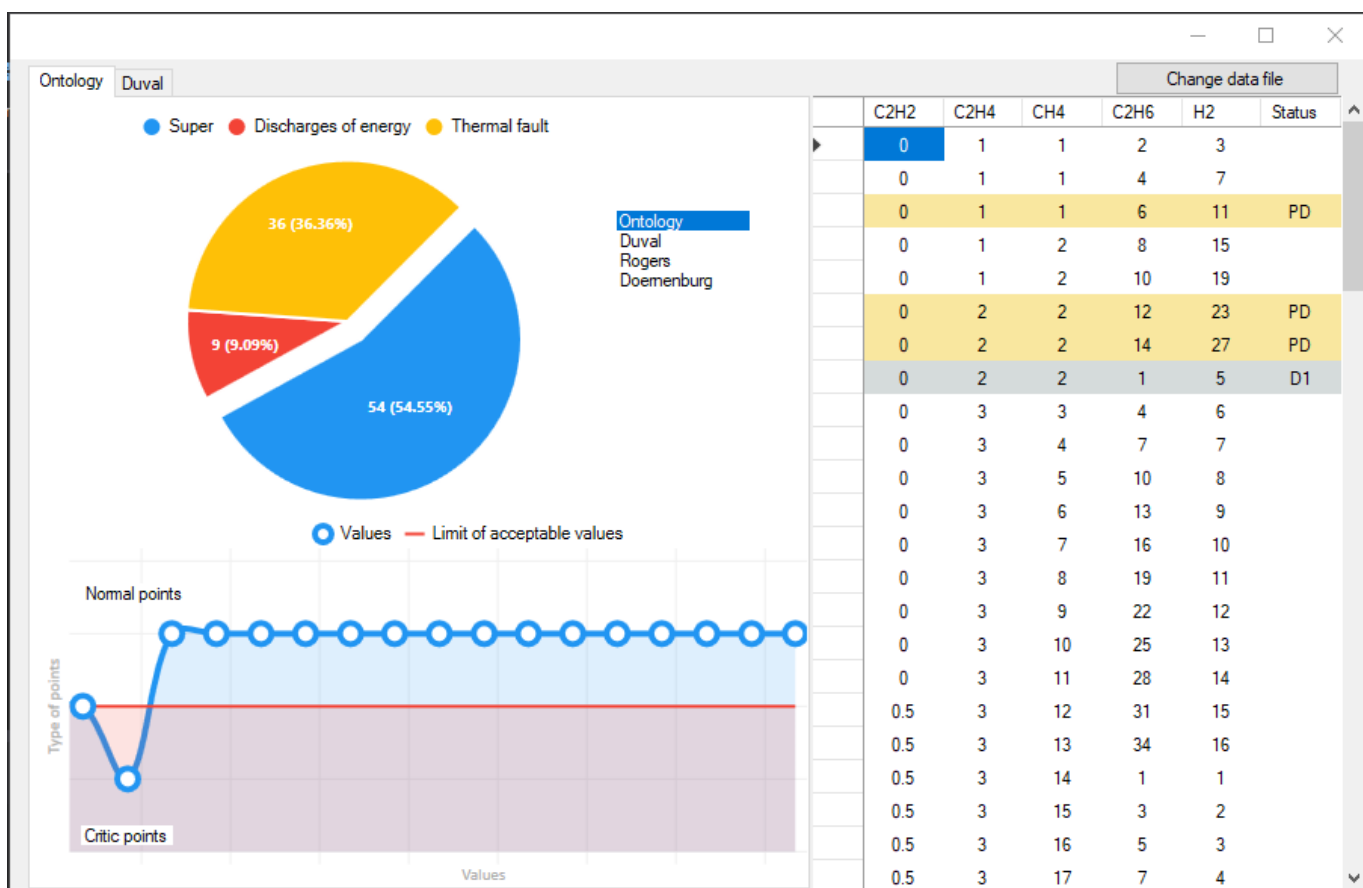


Рисунок 5.3 – Головне вікно програмного застосунку

Для кращого сприйняття отриманих результатів, дані представлені статично у вигляді кругової діаграми – де сегменти відображають чисельне співвідношення дефектів до нормальної роботи трансформатора. У кожному із сегментів діаграми зазначено кількісне та відсоткове відношення кожної із поломок до звичайної роботи приладу.

А у вигляді лінійного графіка – відображаються всі результати як єдина серія точок даних, що з'єднані відрізками та є послідовними в часі. Для кращої візуалізації на графіку відкладена червона вісь, що слугує допустимою межею між позитивними та негативними результатами співвідношення газів. Ті дані, що потрапляють нижче цієї границі відносяться до критичних та потребують певних дій зі сторони для усунення виявлених недоліків, тобто це є ті величини, що потрапили в так звану зону ризику, адже значення хоча б одного із газів перевищило допустиму норму відповідно до методу аналізу, який є можливість обрати в наявному списку методів, що реалізований за допомогою listbox елементу Windows Forms.

Для прикладу та кращого розуміння поводження програмного застосунку, на рисунку можна переглянути результати аналізу, що базуються на розробленій онтологічній моделі, а на рисунку – результати, що отримані були після обрахунків за допомогою методу Дюваля (рисунок 5.4).

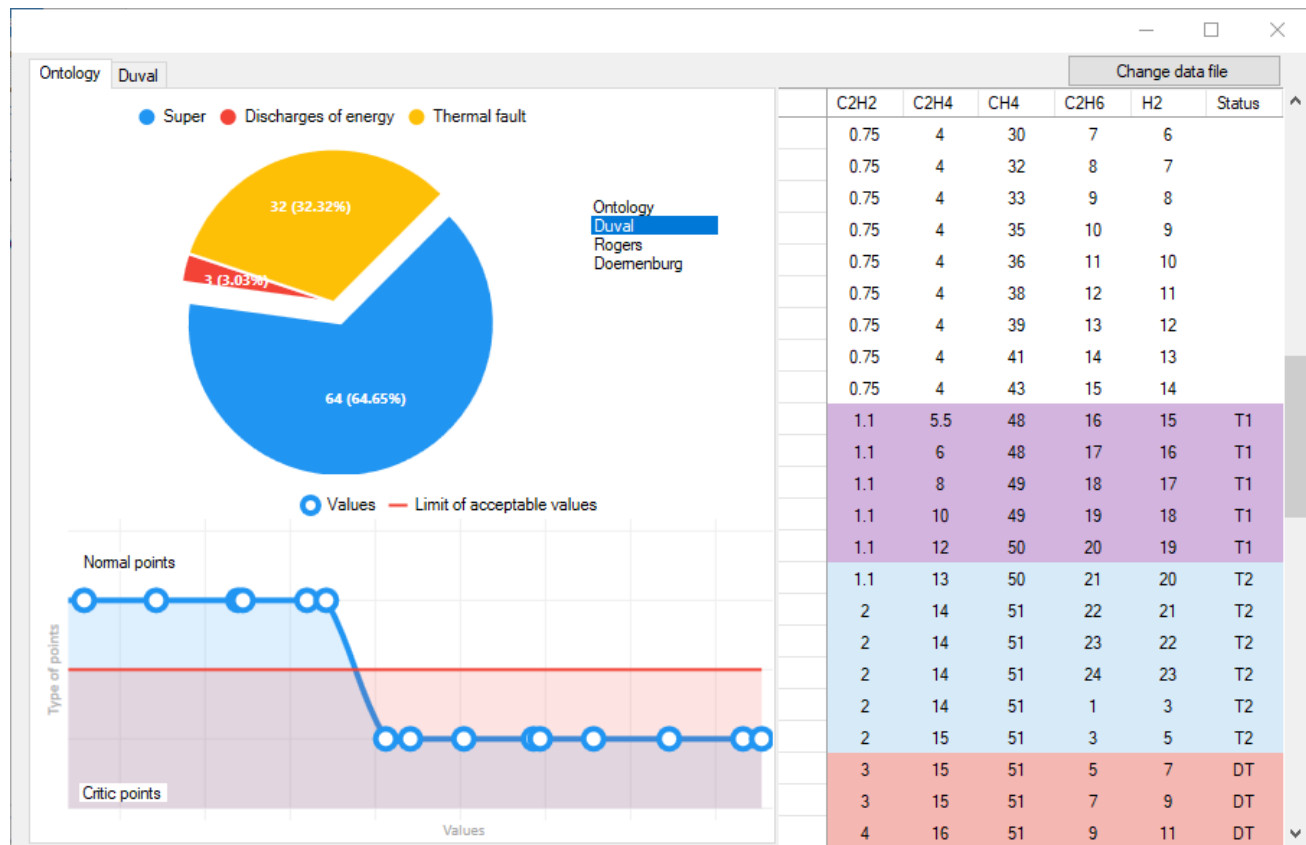


Рисунок 5.4 – Головне вікно програми при виборі методу Дюваля для оцінки технічного стану трансформатора

В реалізованому списку елементів наявні чотири методи, що були розроблені для оцінки технічного стану силового трансформатора. Це три методи, основою яких є система правил: Дюваля, Роджерса, Доєрнбурга, та онтологічний метод, основою якого є база знань.

Також для кращого сприйняття результатів, що були отримані за допомогою роботи методу Дюваля, дані зображуються на побудованому трикутнику Дюваля у вигляді точок (рисунок 5.5).

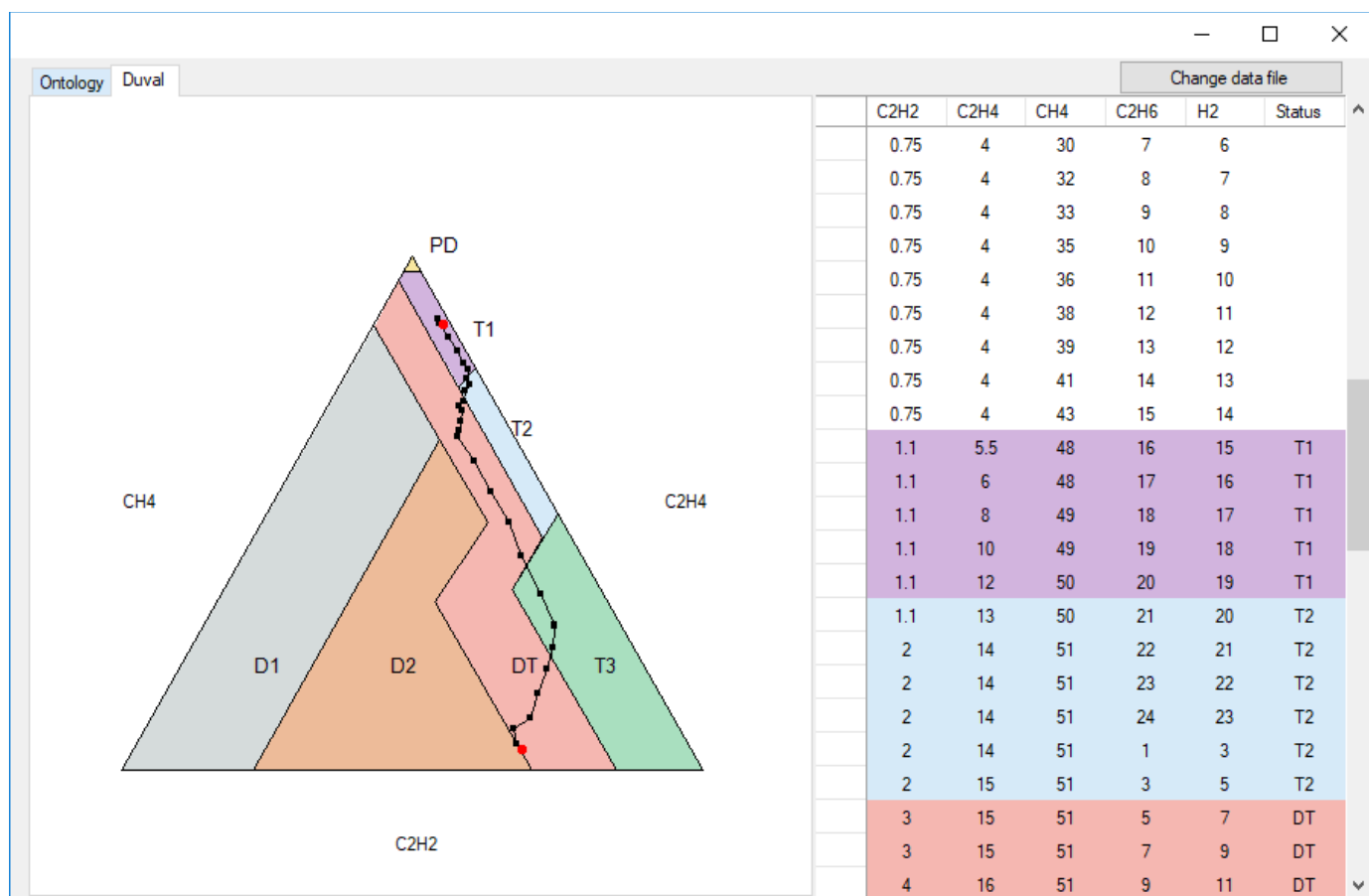


Рисунок 5.5 – Трикутник Дюваля

Даний трикутник розподілений на сім зон, які відповідають певним технічним недолікам в трансформаторах, відповідно знайдені точки чітко вказують тип недоліку.

Кожна із зон трикутника має певне забарвлення, що відповідає типу поломки, а також відповідний рядок в таблиці концентрацій розчинених газів, де дані, що перевищили допустиму норму має аналогічний колір. Кожна із семи зон в трикутнику Дюваля є підписана та має певний колір забарвлення, проте в колонці «Status» теж зазначається тип поломки, якщо відсоткове відношення газів вказує на певні недоліки в трансформаторі.

За допомогою червоного кольору, в який забарвлені дві точки на графіку, позначено початок та кінець життєвого циклу поломки.

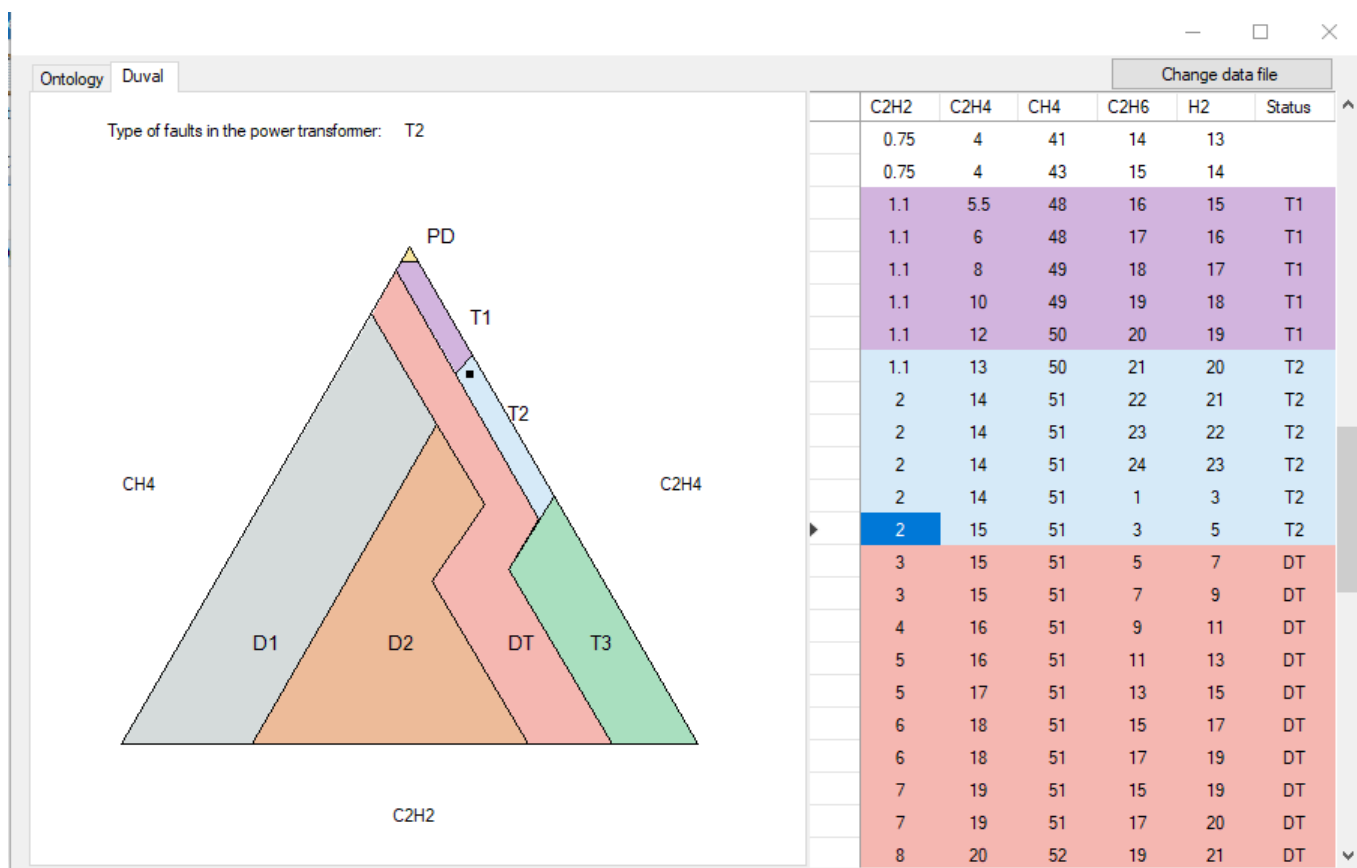


Рисунок 5.6 – Результати дослідження методом Дюваля для однієї обраної точки із отриманих даних

Також користувач має можливість окремо для кожного рядка в таблиці – кожного заміру концентрації газів в трансформаторі в певний момент часу - переглянути місцезнаходження даної точки на трикутнику, як окремого випадку із його життєвого циклу. Для цього достатньо в певному рядку таблиці натиснути лівою кнопкою миші на одну із його комірок.

На рисунку 5.6 ми можемо побачити приклад роботи програми для вище описаного випадку.

А на рисунку 5.7 зображено приклад роботи програмного застосунку, коли користувач може в таблиці із даними газів, розчиненими в трансформаторному маслі, обрати та виділити кілька рядків – відповідно на трикутнику Дюваля будуть позначені результати у вигляді кількох точок, що відповідатимуть обраним рядкам.

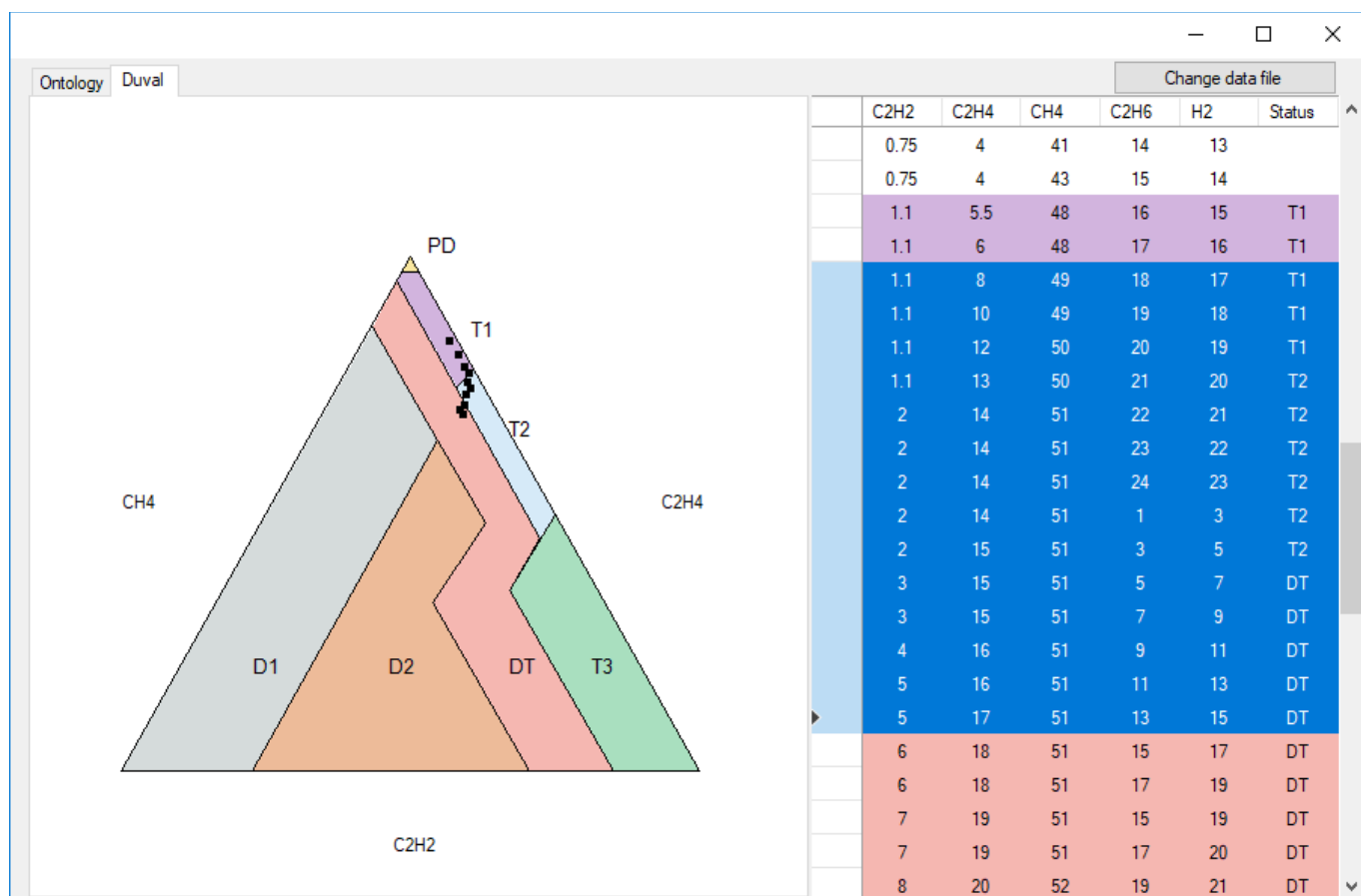


Рисунок 5.7 – Метод Дюваля для кількох точок

Висновки до розділу 5

Розроблений програмний продукт дозволяє виконати всі задані вимоги, а саме провести оцінку технічного стану трансформатора по даним, що користувач завантажує до програми самостійно, за допомогою чотирьох методів – Дюваля, Роджерса, Доєрнбурга і розробленої онтологічної моделі. Для кращого сприйняття результатів моніторингу є присутні кругова діаграма співвідношень критичних станів до нормальних, лінійний графік перебігу життєвого циклу трансформатора та трикутник Дюваля.

6. СТАРТАП ПРОЕКТ

Розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження. Проведення маркетингового аналізу передбачає виконання нижченаведених кроків.

6.1 Опис ідеї проекту

В межах підпункту слід проаналізувати та подати у вигляді таблиць:

- зміст ідеї (що пропонується);
- можливі напрямки застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару;
- чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників.

Перші три пункти подаються у вигляді таблиці (таблиця 6.1) і дають цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки.

Таблиця 6.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Інтелектуальне діагностування технічного стану силових трансформаторів	1. Моніторинг технічного стану трансформаторів на основі методів, що використовують систему правил	1. Можливість моніторингу протягом певного періоду, а не в один, конкретний момент часу
	2. Моніторинг технічного стану трансформаторів на основі методів, що використовують базу знань	2. Можливість точної оцінки технічного стану обладнання

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї (чим відрізняється від

існуючих аналогів та замінників) порівняно із пропозиціями конкурентів передбачає:

- визначення переліку техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначення попереднього кола конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводиться збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проводиться порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначаються показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (таблиця 6.2).

Таблиця 6.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик

No п/п		(потенційні) товари/концепції конкурентів		
		Мій проект	Transformer Clinic	Weidmann
1	W слабка сторона	Відсутність можливості самонавчання системи	Відсутність можливості самонавчання системи	Відсутність можливості самонавчання системи
2	N нейтральна сторона	Можливість моніторингу кількома методами	Можливість моніторингу кількома методами	Можливість моніторингу кількома методами
3	S сильна сторона	Наявність графічного редактора	Наявність графічного редактора	Наявність графічного редактора
		Використання онтологічної моделі	Розширена база досліджених даних	Розширена база досліджених даних

6.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту. Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (таблиця 6.3):

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту;
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/доробити;
- чи доступні такі технології авторам проекту.

Таблиця 6.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Нативний інтерфейс користувача	Windows Forms	Наявна	Доступна безкоштовно
2	Реалізація методів для моніторингу на основі системи правил	C#	Наявна	Доступна безкоштовно
3	Реалізація методів для моніторингу на основі бази знань	C#, RDF, XML	Наявна	Доступна безкоштовно
4	Графічне відображення результатів	Drawing2D, LiveCharts library	Наявна	Доступна безкоштовно
<p>Висновок: проект реалізувати можливо. Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Нативний інтерфейс користувача, Реалізація методів для моніторингу за допомогою мови C#</p>				

За результатами аналізу таблиці робиться висновок щодо можливості технологічної реалізації проекту: так чи ні, а також технологічного шляху, яким це

доцільно зробити (з поміж названих технологій обираються такі, що доступні авторам проекту та є наявними на ринку).

6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 6.4).

Таблиця 6.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	1
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	200 грн
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	50 %

Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку) порівнюється із банківським відсотком на вкладення. За умови, що останній є вищим, можливо, має сенс вкласти кошти в інший проект.

За результатами аналізу таблиці робиться висновок щодо того, чи є ринок привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та

формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 6.5).

Таблиця 6.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Інтелектуальне діагностування технічного стану силових трансформаторів	Компанії, що займаються проектуванням, розробкою або ж використовують в промисловості силові трансформатори	Особливості купівлі: компанії заключають довготривалі договори стандарти: в компаніях користувачем системи моніторингу може виступати одна людина	Стабільність роботи Невисока ціна Наявність пробного періоду Наявність документації Підтримка необхідних платформ Якісний моніторинг стану обладнання

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (таблиці 5.6-5.7).

Таблиця 6.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Дані для моделювання моніторингу зчитуються з .xlsx файлу	Для даних, що зберігаються у файлах іншого формату виникне потреба для їх перенесення	Додавання можливості зчитування даних із різного типу файлів

2	Власна онтологічна модель	При необхідності внести зміни в онтологічну модель, компанії доведеться це робити вручну, оскільки використовується власна її структура	Додавання можливості автоматизованого редагування онтологічної моделі
3	Обмеженість функцій	Інструмент обмежений наявними функціями і не має деяких функцій, наприклад немає контролерів, що в змозі забезпечити пряму передачу даних від трансформатора до ПЗ	Додавання нових функцій за потреби

Таблиця 6.6. (продовження)

Таблиця 6.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Дороговартісне обладнання	Трансформатори досить дорогі в ціні	Надання інструменту для онлайн моніторингу силових трансформаторів
2	Відсутність повноцінних альтернатив	Існуючі альтернативи не надають можливості моніторингу стану трансформатора протягом певного відрізка його життєвого циклу	Розширити функціонал моніторингу

Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку. Аналіз пропозиції необхідно виконати аналізуючи існуючі види конкуренцій.

Пропозиції повинні відповідати на питання “Як просувати продукт”.

Аналіз пропозицій зображено на таблиці 5.8.

Таблиця 6.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/монополістична/чиста	чиста	Прямі договори з промисловими компаніями, презентація продукту на виставках
2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний/національний /...	національний	Публікація статей на міжнародних сайтах
3. За галузевою ознакою - міжгалузева/внутрішньогалузева	внутрішньогалузева	Розвивати напрямки, нерозвинуті конкурентами
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова - товарно-видова - між бажаннями	товарно-видова	Розповідати про свої переваги перед конкурентом у цій галузі
5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	нецінова	Надання функцій, які не надають конкуренти
6. За інтенсивністю - марочна/не марочна	марочна	Надання функцій, які не надають конкуренти

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (таблиця 5.9).

Таблиця 6.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники (Архітектори БД)	Клієнти (Розробники)	Товари-замінники
-------------------------	----------------------------------	------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------	-------------------------

Таблиця 6.9. (продовження)

	- Transformer Clinic Weidmann	PrimeLab DGA-Calculator	Мінімізація витрат часу постачальників	Контроль якості	Лояльність споживачів
Висновки :	Визначити інтенсивність конкурентної боротьби з боку прямих конкурентів	Є можливості виходу на ринок, оскільки існуючі рішення не надають потрібних переваг	Постачальники підлаштовують ся під ринок	Клієнти диктують вимоги згідно з умовами експлуатації	Обмеження для роботи на ринку через товари заміники

На основі аналізу конкуренції, проведеного в п. 3.5 (таблиця 6.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиця 6.2), вимог споживачів до товару (таблиця 6.5) та факторів маркетингового середовища (таблиця 6.6-6.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за таблицею 10.

Таблиця 6.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Но п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Використання онтологічної моделі для діагностування	Існуючі конкуренти використовують для моніторингу лише ті методи, що базуються на системі правил
2	Генерація додаткових зручних методів	Існуючі конкуренти генерують необхідний мінімум методів в той час, коли даний продукт додатково генерує зручні методи необхідні для моніторингу.

За визначеними факторами конкурентоспроможності (таблиця 6.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (таблиця 6.11).

Таблиця 6.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

No п/ п	Фактор конкурентоспроможнос ті	Бали 1- 20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Database Generator (даним продуктом)						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Використання онтологічної моделі для діагностування	20	+						
2	Генерація додаткових зручних методів	10			+				

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (таблиця 6.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (таблиця 6.11).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 6.12. SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Використання онтологічної моделі для діагностування, розширений графічний супровід результатів	Слабкі сторони: Відсутність можливості онлайн моніторингу за допомогою контролерів, отримуючи дані безпосередньо з приладу
Можливості: Використання онтологічної моделі Відсутність повноцінних альтернатив	Загрози: Власний формат даних для моніторингу Обмеженість функцій

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 6.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/ п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Орієнтація поточної моделі на ринок стартаперів	50 %	40 год
2	Орієнтація поточної моделі на ринок державних установ	20 %	160 год
3	Орієнтація поточної моделі на ринок ентерпрайз	10 %	200 год
4	Переорієнтація на генерацію серверної частини	80 %	120 год
5	Переорієнтація на веб-розробку	35 %	80 год
6	Переорієнтація на розробку БД	60 %	160 год

Альтернатива, де отримання ресурсів є більш простим та ймовірним – №4 "Переорієнтація на генерацію серверної частини", що становить 80 відсотків. Це значення перевищує інші альтернативи.

Альтернатива, де строки реалізації є більш стислими – №1 "Орієнтація поточної моделі на ринок стартаперів". Терміни реалізації в цьому разі становлять лише 40 годин.

6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (таблиця 6.14).

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) автори ідеї обирають цільові групи, для яких вони пропонуватимуть свій товар, та визначають стратегію охоплення ринку.

Таблиця 6.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Підприємства	Готові	Середній	Середня	Просто
2	Стартапери	Потребують недовгих переговорів	Середній	Середня	Складно
3	Ентерпрайз	Потребують довгих переговорів	Низький	Низька	Дуже складно
Які цільові групи обрано: підприємства					

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (таблиця 6.15).

Таблиця 6.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
-------	--------------------------------------	---------------------------	------------------------------------------------------------------------	----------------------------

Таблиця 6.15. (продовження)

1	Орієнтація поточної моделі на підприємства	Стратегія концентрованого маркетингу	Підприємства потребують якісної розробки, яка надає певність в тосності моніторингу обладнання	Стратегія спеціалізації (спирається на диференціацію)
---	--------------------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 6.16).

Таблиця 6.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	шукати нових споживачів	Так, створення контролерів для онлайн моніторингу	Стратегія заняття конкурентної ніші

З обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту розробляється стратегія позиціонування (таблиця 6.17). що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 6.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Стабільність роботи Невисока ціна Наявність пробного періоду Наявність документації Підтримка необхідних платформ Генерація оптимізованого коду	Стратегія спеціалізації (спирається на диференціацію)	Підприємства потребують якісної розробки, яка надає певність високої точності моніторингу	пришвидшення розробки ПЗ редактор онтологічної схеми

6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Для цього у таблиці 6.18 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 6.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Підвищення точності моніторингу	Використання онтологічної моделі	Конкуренти використовують лише систему правил для моніторингу
2	Збільшення к-сті даних для	Графічний перегляд всього	Конкуренти дають можливість дослідити стан трансформатора лише

	дослідження	життєвого циклу	в певний момент часу
--	-------------	-----------------	----------------------

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 6.19).

Таблиця 6.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Інтелектуальне діагностування технічного стану силових трансформаторів		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	можливість оптимізації витрат часу	М	Тл
	можливість оптимізації витрат коштів	М	Вр
	відповідність актуальним технологіям	Нм	Тх
	Відповідає вимогам ДСТУ ISO/IEC 25030:2015 Програмна інженерія. Вимоги щодо якості та оцінювання програмного продукту (SQuaRE). Вимоги щодо якості		
	Пакування: готовий до використання dmg пакет		
	Марка: Diagnostic tool for power transformer		
III. Товар із підкріпленням	Потенційний користувач може ознайомитись з поточним товаром з наукових конференцій та публічних виступів, а також наукових вісників на яких була представлена інформація про даний продукт		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Назва і контент захищені ліцензією MIT; захист інтелектуальної власності			

М/Нм – монотонні або немонотонні;

Вр/Тх/Тл/Е/Ор – вартісні, технічні, технологічні, ергономічні або

органолептичні (останній – для продуктів харчування)

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити – чим саме проект буде захищено від копіювання. Захист може бути організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності), або ноу-хау, чи комплексне поєднання властивостей і характеристик, закладене на другому та третьому рівнях товару.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (таблиця 6.20).

Таблиця 6.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	27...270 грн	135...270 грн	27000...98000 грн	27...135 грн

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 6.21):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 6.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Клієнт повинен надаватися в режимах “тріал” та “повний”. Сплата має	Легість в встановленні, легкість в сплаті послуг	4: Розробник даного продукту - Веб-сайт - Користувач.	Проводити збут через Веб-сайт

	проходити через Apple Purchase			
--	--------------------------------	--	--	--

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 6.22).

Таблиця 6.22. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Купляють програми через Веб-сайт	Веб-сайт	Використання онтології Підвищення якості моніторингу	Довести, що програмний продукт підвищить точність виявлення дефектів в рази	Один трансформатор – чотири методи моніторингу

Висновки до розділу 6

Розроблений програмний продукт має переваги над існуючими конкурентами та є конкурентноздатним на ринку. Програма має шляхи подальшого розвитку, визначені маркетингові стратегії та шляхи збуту. Основна цільова аудиторія – це промислові компанії, для яких важлива точність моніторингу технічного стану силових трансформаторів та завчасне попередження щодо виникнення можливих дефектів.

ВИСНОВОК

Важливою перевагою діагностування за трикутником Дюваля є висока наочність при аналізі стадій розвитку дефекту в часі. Найцікавішими в цій траєкторії розвитку дефекту є початкова і кінцева точки. Вони показують, з чого почався розвиток дефекту, коли були зареєстровані перші ознаки виникнення дефекту і через які фази розвитку він пройшов. Важливим є також «генеральний напрямок», в якому відбувається розвиток дефекту, тобто переміщення ознак дефекту по зонах трикутника Дюваля.

Головною задачею діагностування технічного стану та режиму роботи обладнання у режимі реального часу є визначення ресурсу працездатності обладнання – чи можна його експлуатувати далі і, якщо можна, то в якому режимі

Розв'язання поставленої задачі дослідження поломок силових трансформаторів із застосуванням трикутника Дюваля є методом, що базується на правилах, із чітко окресленими граничними даними. Проте є інші шляхи отримання більш точних результатів виявлення поломок при роботі трансформаторів – це методи чітких та нечітких онтологій. Адже при правильній побудові онтологічної схеми, цей шлях є трішки кращим та точнішим у виявленні поломок силових трансформаторів, ніж метод Дюваля.

Наукова новизна розробленого програмного додатку полягає в тому, що удосконалено систему моніторингу технічного стану силового трансформатора через застосування кількох методів для його оцінки та розроблено онтологічну модель, що підвищує точність та завчасне попередження про виникнення поломок різного характеру.

А також розроблено графічний візуалізатор, що базується на основі методу Дюваля та дозволяє слідкувати за виникненням та перебігом поломок в силовому трансформаторі як в окремій точці в певний момент часу, так і в певній колекції точок, так і будує повну картину перебігу подій протягом всього життєвого циклу.

Та розроблена удосконалена онтологічна модель оцінки силового трансформатора на базі аналізу відомих методів виявлення помилок, досліджених вченими раніше, що значно підвищує точність результатів.

Простота реалізації методів Дюваля та чітких онтологій дозволяє легко застосовувати їх у вбудованих системах моніторингу, контролю технічного стану та управління режимом роботи силового трансформатора.

Розроблений програмний додаток виконано відповідно заданих вимог та з використанням мови C# та сучасних підходів до розробки програмних застосунків.

Розроблений програмний інтерфейс дозволяє виконати всі задані вимоги, а саме провести оцінку технічного стану трансформатора по даним, що користувач завантажує до програми самостійно, за допомогою чотирьох методів – Дюваля, Роджерса, Доєрнбурга і розробленої онтологічної моделі. Для кращого сприйняття результатів моніторингу є присутні кругова діаграма співвідношень критичних станів до нормальних, лінійний графік перебігу життєвого циклу трансформатора та трикутник Дюваля.

Розроблений програмний продукт має переваги над існуючими конкурентами та є конкурентноздатним на ринку. Програма має шляхи подальшого розвитку, визначені маркетингові стратегії та шляхи збуту. Основна цільова аудиторія – це промислові підприємства, для яких важлива швидкість розробки програмного забезпечення для онлайн моніторингу технічного стану в силових трансформаторах.

Розроблений програмний продукт має переваги над існуючими конкурентами та є конкурентноздатним на ринку. Програма має шляхи подальшого розвитку, визначені маркетингові стратегії та шляхи збуту. Основна цільова аудиторія – це промислові підприємства, для яких важлива якісної розробки програмне забезпечення, яке надає певність високої точності моніторингу силових трансформаторів та вчасне виявлення зародження можливих дефектів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Попов Г.В.* Вопросы диагностики силовых трансформаторов / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2012. – 176 с.
2. *Тюрюмина А. В., Батрак А. П., Секацкий В. С.* Современное состояние вопроса диагностики силовых трансформаторов в зарубежных странах // Молодой ученый. — 2016. — №8. — С. 321-325.
3. *Metwally I. A.* Failures, Monitoring, and New Trends of Power Transformers. IEEE POTENTIALS. MAY/JUNE 2011. Digital Object Identifier 10.1109/MPOT.2011.94023
4. *Ahmed E. B. Abu-Elanien, M. M. A. Salama* // Asset Management Techniques for Transformers. Electricpowersystemsresearch. — 2010 P. 456–464
5. *А.И. Хальясмаа, С.А. Дмитриев, С.Е. Кокин, М.В. Осотова* Оценка состояния силовых трансформаторов на основе анализа данных технической диагностики, 2013
6. *Envies V.I., Petchenkin V.I., Kalanchin S.V.*, Possibilities of application of thermal control for the diagnosis of power transformers technical state, Energoexpert, 2011, no. 6 (29), pp. 64-67
7. *Левин В.М., Керимкулов Н.Н.* Экспресс-оценка состояния силовых трансформаторов для обеспечения эксплуатационной надежности, // Изв. Вузов. Северо-Кавказский регион. Техн. Науки. 2016. № 5. С. 20-24
8. *Левин В.М.* Идентификатор состояний маслонаполненного трансформаторного оборудования на основе анализа растворенных газов // Изв. Вузов. Северо-Кавказский регион. Техн. Науки. 2014. № 5. С. 22-26.
9. *Левин В.М.* Статистический метод распознавания дефектов в силовых трансформаторах при их техническом обслуживании по состоянию // Промышленная энергетика. 2013. № 8. С. 37-42

10. *Рыжкина А. Ю.* Анализ хроматографических методов диагностики маслонаполненного электрооборудования – 2009
11. *Левин В.М.* Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле. РД 153-34.0-46.302-00. —М.: ОАО «ВНИИЭ», 2001
12. *Muhamad N.A., Phung B.T, Blackburn T.R.* Comparative study and analysis of DGA Methods for Transformer mineral oil // IEEE Lausanne. July 2007 V. 1–5 P. 45–50
13. *Phung B.T, Blackburn T.R.* Методическое руководство по выбору технических и программных средств для систем мониторинга силовых трансформаторов ООО «DIMRUS» Пермь 2014
14. *Константинова Н.С., Митрофанова О.А.* онтологии как системы хранения ЗНАНИЙ - 2011
15. *Добров Б.В., Лукашевич Н.В.* Вторичное использование лингвистических онтологий: изменение в структуре концептуализации. - 2011
16. *Гладун А.Я., Рогушина Ю.В.* Онтологии в корпоративных системах, Часть II // Корпоративные системы №1 - 2006
17. *Akbari A., Setayeshmehr A., Borsi H., Gockenbach E.* A Software Implementation of the Duval Triangle Method - 2008
18. *Michel D., Dukarm J.,* Improving the Reliability of Transformer Gas-in-Oil Diagnosis, IEEE Elec. Insul. Mag., Vol.21, No.4, pp. 21-27, 2005
19. *Давиденко И.В.* оценка технического состояния силовых трансформаторов порезультатам традиционных испытаний иизмерений - Екатеринбург УрФУ 2015
20. ГKD COY-H EE 46.501:2006 “Методичні вказівки підготовки та проведенню хроматографічного аналізу газів, розчинених візоляційному маслі маслонаповне-ного електрообладнання”
21. Стандарт организации «Энергетические масла имас-лохозяйства электрических станций исетей. Организация эксплуатации итехнического

обслуживания/Нормы и требования» НП «ИНВЭЛ». СТО 70238424.27.100.053–2009

22. Akbari A., Setayeshmehr A., Borsi H., Gockenbach E., Fofana I., “Intelligent agent-based system using dissolved gas analysis to detect incipient faults in power transformers,” *Electrical Insulation Magazine*, IEEE, vol. 26, no. 6, pp. 27–40, 2010
23. McDonald J. D., “Substation automation. IED integration and availability of information,” *Power and Energy Magazine*, IEEE, vol. 1, no. 2, pp. 22–31, 2003.
24. Tan cheng J., Luan W., “IEC 61850 based substation automation system architecture design,” in *Power and Energy Society General Meeting*, 2011 IEEE, pp. 1–6, 2011
25. “IEEE guide for application for monitoring equipment to liquid-immersed transformers and components,” *IEEE Std C57.143-2012*, pp. 1–83, 2012
26. Zheng H. B., Liao R. J., Grzybowski S., Yang L. J., “Fault diagnosis of power transformers using multi-class least square support vector machines classifiers with particle swarm optimisation,” *IET Electric Power Applications*, Issue 9, vol. 5, pp. 691–696, 2011.
27. Fan Z., Huang M., “Fuzzy rule set based engine fault diagnosis,” in *Power and Energy Engineering Conference, APPEEC Asia-Pacific*, pp. 1–5, 2009
28. Бейлінов Д.О. Кроссплатформена розробка мобільних додатків з використанням мови програмування C# // Тези доповідей кафедри КСУ. - Київ: НАУ, 2015.
29. Фримен А. ASP.NET MVC 5 с примерами на C# 5.0 для профессионалов. / Адам Фримен. – Москва: ООО "Издательский дом "Вильямс", 2015. – 736 с.
30. Horrocks I., «The Ontology Interchange Language OIL», tech. report, Free Univ. of Amsterdam, – 2000
31. Thompson H.S., «XML Schema Part 1: Structures», W3C, work-in-progress, current as of Apr. – 2000
32. Turhan A.-Y., “Description logic reasoning for semantic web ontologies,” in *Proceedings of the International Conference on Web Intelligence, Mining and*

- Semantics, WIMS '11, (New York, NY, USA), pp. 6:1–6:5, ACM, 2011.
33. *Huang Y.-C., Sun H.-C.*, “Dissolved gas analysis of mineral oil for power transformer fault diagnosis using fuzzy logic,” *Dielectrics and Electrical Insulation*, IEEE Transactions, vol. 20, no. 3, 2013
 34. *Sun H.-C., Huang Y.-C., Huang C.-M.*, “Fault diagnosis of power transformers using computational intelligence: A review,” *Energy Procedia*, vol. 14, pp. 1226 – 1231, 2012.
 35. *Ma H., Li Z., Ju P., Han J., Zhang L.*, “Diagnosis of power transformer faults on fuzzy three-ratio method,” in *Power Engineering Conference, 2005. IPEC 2005. The 7th International*, pp. 1–456, 2005
 36. *Декер С. О., Мельник С. А.* Semantic Web: роли XML и RDF – 2001
 37. *Sukhbir S., Dheeraj J., Bandyopadhyay M.N.* Software Implementation of Duval Triangle Technique for DGA in Power Transformers - 2011
 38. IEEE Std. C57-104TM -2008, “IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil- Immersed Transformers,” September 2008
 39. *Duval. M.*, “Calculation of DGA Limit Values and Sampling Intervals in Transformers in Service,” *IEEE Elect. Insul. Mag.*, vol. 24, no. 5, pp.7-13, 2008.
 40. *Duval. M.*, Diagnosis [Feature Article],” *IEEE Elect. Insul. Mag.*, vol. 24, no. 4, pp. 24-40, 2008
 41. *Sukhbir S.*, “New Trends on Power Transformer Fault Diagnosis”, *National Conferenc on "Recent Advances in Electrical Engineering RAEE-2008"* Dec. 26-27, 2008, NIT
 42. *Sukhbir S., Dheeraj J., Bandyopadhyay M.N.*, “Duval Triangle-A Noble Technique for DGA in Power Transformers”, *International Journal of Electrical and Power Engineering*, Vol. 4 issue 3, pg. 193-197, 2010
 43. *Wang D., Tang W. H., Wu Q. H.*, “Ontology-based fault diagnosis for power transformers,” in *Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE*, pp. 1–8, 2010.

ДОДАТОК А

Інтелектуальне діагностування технічного стану силових трансформаторів

Апробації

УКР.НТУУ “КПІ” ім. І. Сікорського.ТІЗ191_18МП

Аркушів 5

2018

ДОДАТОК Б

Інтелектуальне діагностування технічного стану силових трансформаторів

Акт впровадження

УКР.НТУУ “КПІ” ім. І. Сікорського. ТІЗ191_18МП

Аркушів 2

2018